



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Evaluación de la socavación total para la optimización de  
diseño del puente solidaridad en el distrito San Juan de  
Lurigancho, 2017**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Quito Crispin, Daniel Jonathan (ORCID: 0000-0003-3007-3166)

**ASESOR:**

Mg. Ing. Benites Zúñiga, José Luis (ORCID: 0000-0003-4459-494X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

**LIMA – PERÚ**

2020

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de indagación se lo dedico a mi madre Jacqueline Crispin Venturo y a mi abuelo Teodosio Crispin Castro, quien en vida me inculco los valores de humildad, respeto, perseverancia y dedicación para lograr enfrentar y superar los obstáculos de la vida, por todo el afecto que siento hacia ellos obtendré al fin este logro, verme convertido en un ingeniero, comprometido a dar siempre lo mejor de mí para la sociedad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios todopoderoso por haberme permitido desarrollar esta investigación, a mi madre por su apoyo incondicional, a los docentes de la Universidad por la formación académica en especial al Mg. Ing. José Luis Benites Zúñiga por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. METODOLOGÍA.....	55
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	55
3.2. Variables y operacionalización.....	56
3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis.....	57
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	58
3.5. Procedimientos.....	60
3.6. Método de análisis de datos.....	61
3.7. Aspectos éticos.....	61
IV. RESULTADOS.....	63
V. DISCUSIÓN.....	86
VI. CONCLUSIONES.....	91
VII. RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS.....	94
ANEXOS.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Factor de corrección por contracción del cauce <math>\mu</math></i> .....	27
Tabla 2. <i>Valores de coeficiente</i> .....	28
Tabla 3. <i>Multiplicador de consideración por carácter de viaje de sedimentos</i> .....	28
Tabla 4. <i>Factor de transportación de material de fondo</i> .....	30
Tabla 5. <i>Factor de corrección <math>K_1</math></i> .....	33
Tabla 6. <i>Coeficiente de corrección <math>K_\theta</math></i> .....	34
Tabla 7. <i>Coeficiente de corrección <math>K_q</math></i> .....	34
Tabla 8. <i>Coeficiente de corrección <math>K_m</math></i> .....	35
Tabla 9. <i>Factor de Corrección <math>K_1</math>– Método de CSU</i> .....	39
Tabla 10. <i>Factor de corrección <math>K_3</math></i> .....	40
Tabla 11. <i>Factor de corrección <math>K_4</math></i> .....	40
Tabla 12. <i>Factor de corrección de forma <math>K_f</math></i> .....	44
Tabla 13. <i>Factor de corrección por ángulo de ataque <math>K_\theta</math></i> .....	45
Tabla 14. <i>Factor de corrección <math>F_c</math></i> .....	46
Tabla 15. <i>Análisis granulométrico</i> .....	67
Tabla 16. <i>Peso específico de la muestra</i> .....	69
Tabla 17. <i>Análisis granulométrico</i> .....	70
Tabla 18. <i>Peso específico de la muestra</i> .....	71
Tabla 19. <i>Tabla de resultados por Hec Ras</i> .....	77
Tabla 20. <i>Tabla de resultados por Hec Ras</i> .....	78
Tabla 21. <i>Tabla de resultados por Hec Ras</i> .....	79
Tabla 22. <i>Tabla de resultados por Hec Ras</i> .....	83
Tabla 23. <i>Tabla de resultados por Hec Ras</i> .....	84
Tabla 24. <i>Tabla de resultados por Hec Ras</i> .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Gráfico indicativo de colapso de puentes en el Perú .....	1
<i>Figura 2.</i> Tipos de cauces .....	16
<i>Figura 3.</i> Tipos de sistema fluvial .....	17
<i>Figura 4.</i> Tipos de cauces según su patrón.....	19
<i>Figura 5.</i> Influencia de la relación de la profundidad del agua y el ancho de la pila .....	22
<i>Figura 6.</i> Variación de parámetros .....	23
<i>Figura 7.</i> Clasificación de los tipos de socavación .....	25
<i>Figura 8.</i> Socavación en estribos y pilares .....	26
<i>Figura 9.</i> Velocidad de caída ( $\omega$ ) en función del tamaño de las partículas de arena.....	30
<i>Figura 10.</i> Sistema de vórtices durante la erosión en un estribo .....	32
<i>Figura 11.</i> Factor de corrección K2 .....	33
<i>Figura 12.</i> Proceso de erosión en el pilar .....	38
<i>Figura 13.</i> Formas de pilares – Método de CSU .....	39
<i>Figura 14.</i> Factor de forma Kf .....	42
<i>Figura 15.</i> Coeficiente Kf Método de Laursen y Toch.....	43
<i>Figura 16.</i> Grafica para Pila Elongada con Borde Circular .....	47
<i>Figura 17.</i> Factor de corrección $K\phi$ .....	48
<i>Figura 18.</i> Sección en Hec-Ras .....	60
<i>Figura 19.</i> Mapa político de la provincia de Lima .....	63
<i>Figura 20.</i> Mapa político del Perú.....	63
<i>Figura 21.</i> Ubicación de la provincia de Lima .....	64
<i>Figura 22.</i> Ubicación del distrito de San Juan de Lurigancho .....	64
<i>Figura 23.</i> Ubicación de la Zona- Google earth .....	66
<i>Figura 24.</i> Curva Granulométrica .....	68
<i>Figura 25.</i> Diámetro medio .....	68
<i>Figura 26.</i> Curva Granulométrica .....	70
<i>Figura 27.</i> Diámetro medio .....	71
<i>Figura 28.</i> Resultados del programa HCANALES .....	72
<i>Figura 29.</i> Resultados del programa HCANALES .....	73
<i>Figura 30.</i> Qmax. registrado en la estación meteorológica Quirihuac.....	74
<i>Figura 31.</i> Caudales para modelamiento en Hec - Ras .....	74

<i>Figura 32. Geometría del río cada 20m.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 33. Sección transversal 20 m aguas abajo del puente HEC-RAS.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34. Sección transversal 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 35. Vista tercera dimensión del flujo del caudal.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 36. Distancia recorrida y altura HEC-RAS.....</i>	<i>77</i>
<i>figura 37. Resultados de Socavación .....</i>	<i>79</i>
<i>figura 38. Geometría del río cada 20m.....</i>	<i>80</i>
<i>figura 39. Sección transversal del río Moche 20 m aguas abajo del puente HEC-RAS ..</i>	<i>80</i>
<i>figura 40. Sección transversal del río Moche bajo el puente HEC-RAS.....</i>	<i>81</i>
<i>figura 41. Sección transversal del río Moche 20 m aguas arriba del puente HEC-RAS..</i>	<i>81</i>
<i>figura 42. Sección transversal del río Moche 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS</i>	<i>82</i>
<i>figura 43. Vista tercera dimensión del flujo del caudal.....</i>	<i>82</i>
<i>figura 44. Distancia recorrida y altura HEC-RAS .....</i>	<i>83</i>
<i>figura 45. Resultados de Socavación .....</i>	<i>85</i>
<i>figura 46. Gráfico de resultados de socavación total .....</i>	<i>85</i>
<i>figura 47. Gráfico comparativo socavación en estribos – diámetro medio .....</i>	<i>87</i>
<i>figura 48. Gráfico comparativo socavación en pilares – diámetro medio .....</i>	<i>88</i>
<i>figura 49. Gráfico comparativo socavación en estribos – Caudal .....</i>	<i>89</i>
<i>figura 50. Gráfico comparativo socavación en pilares – Caudal .....</i>	<i>89</i>

## RESUMEN

La investigación tuvo la finalidad de evaluar la socavación total en puentes que interactúan con ríos, utilizando metodologías modernas; el software Hec-Ras.

El objetivo principal fue evaluar la influencia de la socavación en el diseño de puentes, determinando las condiciones geotécnicas y la hidrología superficial, para luego procesarlos en el programa.

El tipo de investigación fue aplicada, diseño no experimental-transversal. La población fueron los puentes en La Libertad, las muestras fueron los puentes Libertad y Moche. La técnica fue análisis documental, las fichas de recolección de datos que se emplearon fueron validadas por especialistas (ingenieros civiles colegios con especialidad en hidrología).

Los resultados finales fue que la socavación general, estribos y pilares, para el puente Libertad 0.10m, 2.30m, 3.14m; para el puente Moche 0.10m, 1.60m, 1.24m, respectivamente, obteniendo con apoyo del programa, una manera práctica y técnica de analizar la socavación.

En conclusión, los puentes en investigación resisten la socavación producida. Se debe considerar el análisis y estudio de este en la etapa de planteamiento, ya que permite conocer un rango de profundidades y establecer obras de protección, obteniendo que el tiempo de servicio perdurará al pasar de los años y tenga mejor respuesta funcional ante los fenómenos naturales.

**Palabras claves:** Socavación total, diseño de puentes, condiciones geotécnicas, hidrología superficial, software Hec Ras.



## ABSTRACT

The research was aimed at evaluating the total undercut in bridges that interact with rivers, using modern methodologies; Hec-Ras software.

The main objective was to evaluate the influence of undercutting on the design of bridges, determining geotechnical conditions and surface hydrology, and then processing them in the program.

The type of research was applied, no experimental-cross desing. The population was the bridges in La Libertad, the samples were the Libertad and Moche bridges. The technique was documentary analysis, the data collection sheets that were used were validated by specialists (civil engineers, colleges specializing in hydrology).

The final results were that the general undercut, abutments and pillars, for the Libertad bridge 0.10m, 2.30m, 3.14m; for the Moche bridge 0.10m, 1.60m, 1.24m, respectively, obtaining, with the support of the program, a practical and technical way to analyze the undercut.

In conclusion, the bridges under investigation resist the undermining produced. The analysis and study of this should be considered in the planning stage, since it allows knowing a range of depths and establishing protection works, obtaining that the service time lasted over the years and has a better functional response to natural phenomena.

**Keywords:** Total undercutm bridge design, geotechnical conditions, surface hydrology, Hec Ras software.

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra en la etapa de recuperación y reconstrucción, ya que fue afectado, y cruelmente golpeado por los tan temidos desastres naturales, demostrando vulnerabilidad ante dichos eventos que afectan a nuestra nación en aspectos sociales, económicos y políticos. Es el caso del fenómeno del niño costero, efecto debido al calentamiento global, que incrementó el caudal de los ríos, ocasionando su desborde, con ello mortandad y se estima que más de 200 000 damnificados.

El Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, en “Reporte sobre los efectos del Fenómeno El Niño”, informó que 159 puentes han sido destruidos, por los efectos de la interacción estructura – río, 44 están en Lima. Uno de los últimos en caer fue el puente Solidaridad, otros como el Javier Pérez de Cuéllar de Chacabayo también se desplomaron debido al paso de las aguas del Rímac, que golpearon los cimientos de las vías.<sup>1</sup>

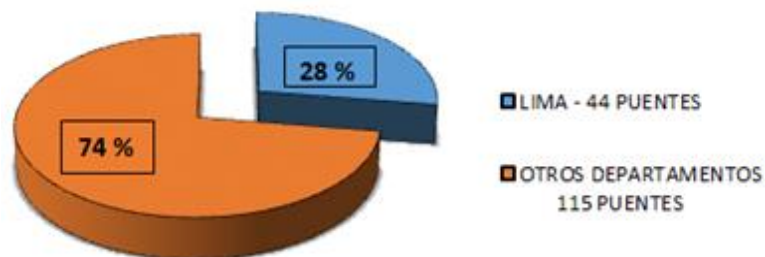


Figura 1. Gráfico indicativo de colapso de puentes en el Perú

Diversas obras de arte que fueron edificadas por instituciones públicas y privadas debieron principalmente su colapso al fenómeno de la socavación y erosión, originados por el aumento excesivo del caudal en los ríos, es el caso de los puentes, en su diseño se debe considerar parámetros claves como la hidrología, sedimentación y geología para hacer una evaluación idónea en todo el proceso pre-construcción y post- construcción.

---

<sup>1</sup> (CENTRO de Operaciones de Emergencia Nacional, 2017 pág. 1)

Un aspecto primordial al evaluar la construcción de un puente es su ubicación geográfica dónde se analiza la vulnerabilidad sísmica, las cargas que soportan estas estructuras como cargas vivas, accidentales, de impacto, y otras, por ende, cualquier cálculo erróneo en el procedimiento de diseño, podría ocasionar daños colaterales entre los elementos que dan soporte estructural, en este caso el concreto y el acero.

La elección de la cimentación a emplear en la construcción de la estructura también es importante, ya que este conforma la raíz del puente, pues su rol es sostener y soportar toda la carga de la estructura, si se elige de manera equivocada la cimentación se tendrá que evaluar los futuros daños ocasionados como la socavación, desbordes de caudal, la cual es el resultado de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material de lecho, de las bancas de un cauce, convirtiéndose en una de las causas más comunes de falla en puentes.

En el presente proyecto de investigación se recopiló, analizo, evaluó y se comparó información de los antecedentes en el mundo y en el Perú acerca de los estudios realizados sobre socavación de puentes, en los cuales podemos encontrar como afectó este fenómeno de naturaleza geográfica, en las estructuras, en su mayoría puentes que los conlleva al punto de colapsar ocasionados problemas entre la sociedad y el transporte.

La vulnerabilidad mostrada ante los efectos del cambio climático debe de mitigarse, para evitar daños económicos y sociales a los pobladores de zonas afectadas. Ante esto la presente tesis tiene el objetivo de analizar la profundidad de socavación en el “Puente Solidaridad” mediante los métodos tradicionales y los métodos innovadores; invitando así a que futuros ingenieros consoliden y optimicen sus conocimientos para proponer, diseñar y ejecutar proyectos de construcción adecuada y sólida que perduren al pasar de los años.

La **formulación del problema** en que se basó los estudios de socavación tomó en cuenta la velocidad del agua en el cauce del río, esto ha variado con los años debido al calentamiento global y las repentinas precipitaciones que existe en la sierra, que

ocasionan que el ancho del cauce y la profundidad del río acrecienten, es fundamental determinar la socavación de dicho puente.

La erosión socava la cimentación del puente, pudiendo causar su falla. Es evidente que uno de los aspectos más importantes del diseño de un puente es el dimensionamiento hidráulico de su longitud y elevación para minimizar los riesgos de falla.

El **problema General** de la investigación fue;

¿Cómo la evaluación de la socavación total mejora el diseño del puente?

Los **problemas Específicos** fueron;

¿De qué manera las condiciones geotécnicas determinan la socavación del puente?

¿En qué medida la variación de la hidrología superficial influye en el cálculo de la socavación del puente?

¿Cómo la aplicación los métodos de análisis de socavación influyen en el diseño del puente?

**La justificación** de la investigación fue enfocada en evaluar la influencia de la socavación total en la mejora del diseño del puente solidaridad en el distrito de San Juan de Lurigancho, con el fin de reducir el riesgo de colapso y asegurar la estabilidad de los puentes que interactúan con ríos.

**En cuanto a lo técnico**, esta investigación permitió conocer los métodos de análisis de socavación modernos enfocándose en el elemento funcional estribo, para ello se realizará la comparación entre los métodos empíricos y el programa de modelamiento “Hec-ras”, siendo este último el que permitió que el cálculo de la socavación se realice de una manera más sencilla y práctica.

**En cuanto a lo económico**, la investigación plasmó la propuesta de cómo se puede evitar gastos innecesarios en la fase de post construcción de un puente, ocasionados por una mala planificación, diseño y errado proceso constructivo, como lo fue el caso de la obra en investigación “Puente Solidaridad”, el cual tuvo

un costo de cinco millones de soles, y por efectos de la socavación sufrió daños irreparables.

**En cuanto a lo social**, la investigación identificó a los perjudicados directos del colapso del “Puente Solidaridad”, son los residentes de la “Cooperativa de Vivienda Talavera la Reyna” de El Agustino y la “Urbanización Zárate Este” de San Juan de Lurigancho, que presentaron dificultades para interrelacionarse entre sí, y también en acceder a los servicios que cubren sus necesidades básicas, se trató de habitantes de bajos recursos, los cuales se vieron afectados por el incremento de pasajes, ya que para cruzar el río se debe rodear, generando un gasto mayor a su bolsa económica prevista. No obstante, muchos de estos habitantes arriesgan su vida cruzando el puente colapsado. Se debe gestionar una solución rápida para estos pobladores, pues es un derecho constitucional el bienestar del ser humano.

**En cuanto a lo ambiental**, la investigación permitió reducir el riesgo de inestabilidad de laderas expuestas a factores externos, como la socavación, el cual tiene un papel muy importante en su desequilibrio. Asimismo, se evaluó el impacto que sufrió el ecosistema del río; teniendo en cuenta 2 factores, en primera instancia los agentes patológicos que tienen respectivamente cada material constructivo del puente (acero, hormigón, pintura diluida), que ocasionan turbiedad del agua, contaminación de ella al combinarse con residuos sólidos; y el segundo factor es la aceleración de los procesos fluvio- morfológicos como la del cauce, aquí se verá la capacidad de erosión del curso de las aguas. La presente investigación buscó reducir el impacto ambiental negativo en este ecosistema.

El **Objetivo General** de la investigación fue:

Evaluar la influencia de la socavación total en la mejora del diseño del puente solidaridad en el distrito de San Juan de Lurigancho, 2017

Los **Objetivos específicos** fueron:

Determinar la influencia de las condiciones geotécnicas en la socavación del puente

Establecer la influencia de la variación de la hidrología superficial en el cálculo de la socavación del puente

Evaluar la influencia de los métodos de análisis de socavación en el diseño del puente

La **Hipótesis General** de la investigación fue:

La evaluación de la socavación total aplicando metodologías modernas mejora positivamente el diseño del puente

Las **Hipótesis Específicas** fueron:

La evaluación de las condiciones geotécnicas influye en la socavación del puente

La evaluación de la variación de la hidrología superficial influye en la socavación del puente

Las evaluaciones de los métodos de análisis de socavación influyen en el diseño del puente

## II. MARCO TEÓRICO

**Esparza** (2019), en su tesis cuyo logro fue la titulación en Ingeniería Civil titulada ***“Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2 km aguas abajo del puente Careaga– Chicama – Ascope – La Libertad.”***, en la Universidad Privada Antenor Orrego, cuyo **objetivo general** fue realizar el estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2 km aguas abajo del puente Careaga– Chicama – Ascope – La Libertad. El **tipo de investigación** fue descriptivo; puesto que se encargó de puntualizar las características de la población elegida; así mismo se toma como población el Cauce del río Chicama y se tiene como muestra el Cauce del río Chicama, en el sector del puente Careaga en una extensión de 2 km (300 m aguas arriba de dicho puente y 1700 m aguas abajo). El autor **concluyó que** las velocidades ocasionadas por los caudales que corresponden al río Chicama a la altura del puente Careaga son los principales agentes que afectan directamente a los pilares puesto que entre estas estructuras de soporte se generan las velocidades más altas provocando daños a los gaviones existentes que son diseñados para optimizar el soporte ante alguna eventualidad perjudicial a la obra de arte, actualmente se encuentran deterioradas y produciendo socavación de 3.83 m en esa zona de los pilares, otra de las zonas que manifiestan velocidades máximas es la adyacente a la cantera donde se produce una socavación aun mayor, siendo de 4.23 m., por lo tanto el autor recomendó la elaboración y colocación del dique en el margen derecho del río, aguas abajo con respecto al puente Careaga esto beneficia de manera positiva a la zona puesto que ya no se verá afectado por alguna inundación o desborde en ese margen del río, sin embargo cabe indicar que al encausar el agua con este dique las velocidades en este tramo sufrieron una variación, aumentaron de 2.105 m/s a 2.523 m/s en la parte final del modelo, de esta manera el tirante se verá aumentada de 2.196 m a 2.60 m.

**Gerónimo** (2019), en su tesis cuyo logro fue la titulación en Ingeniería Civil titulada ***“Estimación de la socavación producida por el flujo de agua del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap utilizando el programa Hec-Ras, Sinsicap - Provincia de Otuzco.”***, en la Universidad Nacional de Trujillo, cuyo **objetivo general** fue estimar la socavación total producida por el flujo de agua del río Martho

al pie de estribos del puente Sinsicap empleando el programa HEC – RAS. El **tipo de investigación** fue descriptivo; ya que se observa y describe la socavación producto del flujo del río Martho en los estribos del puente Sinsicap tal como se presenta en forma natural, para caracterizar varios parámetros de la cuenca del puente con el objetivo de instaurar la estructura, naturaleza estándar y comportamiento de esta. El autor **concluyó que** conociendo que el puente de Sinsicap tiene 10 años en servicio y ya presenta signos de socavación, este se sostendrá durante 10 años más aproximadamente, esto debido a que se estimó la socavación producida por el flujo de agua del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap con el programa Hec - Ras, resolviendo que la socavación crítica se da para un periodo de retorno de 500 años en la cual la socavación total estimada en el estribo izquierdo es 4.05 m y en el estribo derecho es de 3.84 m. por lo tanto el autor recomendó garantizar la protección de la cimentación de los estribos del puente de Sinsicap, debido a la alta probabilidad de fenómenos de socavación en estribos ante periodos de retorno de más de 100 años. Esto debe efectuarse mediante enrocados de protección con cimentación mayor a 3.50 m de profundidad medidos desde el lecho del río, ya que, según el expediente técnico, el puente Sinsicap tiene una cimentación de 2.00 m de profundidad.

**Guillen y Gálvez** (2019), en su tesis cuyo logro fue la obtención del grado de Bachiller en Ingeniería Civil titulada “***Evaluación de la socavación producida en pilares y estribos del puente libertad causado por el fenómeno el niño. Distrito de Guadalupe, la libertad.***”, en la Universidad Privada del Norte, cuyo **objetivo general** fue determinar el nivel de socavación producido en los estribos y pilares del puente Libertad de Guadalupe por el aumento de caudal generado por el fenómeno El Niño. El **tipo de investigación** fue cuantitativa, porque se basa en el estudio y análisis de la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición, así mismo se toma como población el Puente Libertad de Ciudad de Dios, distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo dado que el trabajo de investigación se trata del cálculo de socavación de estribos del puente mediante la aplicación de los Métodos de K. F. Artamonov Y Neill y el programa *HEC-RAS*. El autor **concluyó que** el estudio permitió determinar que el puente está construido adecuadamente para soportar las máximas avenidas del Fenómeno El Niño debido



a que en la construcción del puente se respetó el ancho efectivo del Río Jequetepeque, dándole una luz adecuada al puente de 212m, es así que las aguas no encuentran resistencia para socavar y discurren naturalmente hasta el mar, además, la máxima socavación alcanza los 3.14 m siendo menor a la socavación de diseño del puente que es de 6m de profundidad, por lo tanto, el autor recomendó realizar diseños de puentes respetando el ancho efectivo del río y la profundidad de socavación mayor a la generada por eventos climáticos extremos, ya que, estos eventos son imprevistos y se requieren construcciones que brinden la seguridad necesaria.

**Avalos y Zegarra (2018)**, en su tesis para obtener el grado profesional de Ingeniero Civil titulada ***“Evaluación de la socavación que producirá en pilares y estribos del Puente Moche, la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso.”***, en la Universidad Privada del Norte, cuyo **objetivo general** fue determinar en qué medida la derivación de las aguas de la quebrada San Idelfonso influirá en la socavación de los estribos y pilares del puente Moche. El **tipo de investigación** fue cuantitativo correlacional, debido a que se busca encontrar la relación del caudal nuevo que generará la derivación de las aguas provenientes de la quebrada San Idelfonso con el nivel de socavación de los pilares y estribos del puente Moche, así mismo se toma como población la Quebrada San Idelfonso, la Cuenca que lo contiene, la zona de la ubicación del puente moche, el suelo del cauce de la zona cercana a los estribos y pilares, así como la zona comprendida entre el punto de unión del canal proyectado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para la desviación de las aguas de la quebrada San Idelfonso hasta el puente Moche. El autor **concluyó que** la investigación permitió determinar que no hay un importante nivel representativo en la derivación de las aguas de la quebrada San Idelfonso, además se calculó el nuevo caudal máximo 440.16 m<sup>3</sup>/s. y con ello la socavación de 1.34 m en los pilares y 1.70 m en los estribos del puente Moche, por lo tanto, el autor recomendó que aun cuando el aporte de la quebrada San Idelfonso no representa un caudal significativo para el propio caudal del río Moche, es necesario se considere en el proyecto de la ANA, la defensa de las riveras del río, ya que históricamente se han registrado inundaciones a lo largo de sus márgenes.

**Felipe** (2016), en la investigación para obtener el logro profesional en Máster de Ingeniería Civil titulada ***“Socavación producida por el río Huallaga al puente colpa alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de artamonov, straub y maza, en el hec-ras.”***, en la Universidad de Piura, cuyo **objetivo general** fue conocer los resultados obtenidos en los cálculos de socavación transversal, general y de estribos del río Huallaga en el puente Colpa Alta en la provincia Huánuco; aplicando los Métodos de Artamonov, Straub y Maza utilizando los parámetros hidráulicos del programa HEC-RAS. El **tipo de investigación** fue descriptivo-explicativo, ya que el autor desea describir una realidad en todos sus componentes principales, y, además, intenta encontrar las causas de este. El autor **concluyó que** desarrollo la tesis tomando parámetros hidráulicos facilitados por el programa Hec-Ras, para aplicar los tres métodos propuestos y así calcular la socavación en la zona de estudio, el cual se realizó en el flujo no permanente, con el fin de que esta tesis pueda ser usada por los profesionales para considerar en el diseño y proyección de puentes. Como recomendación el autor afirma que; para realizar el modelamiento hidráulico con el HEC-RAS, es muy importante tener un levantamiento topográfico muy preciso que nos permita obtener secciones transversales reales de la zona de estudio, garantizando así un adecuado modelamiento y la obtención de parámetros hidráulicos confiables y por último, identificar los grados de libertad del río con el fin de plantear obras de protección y encauzamiento

**Cañas** (2018), en su investigación para obtener el logro profesional en Máster de Ingeniería Civil titulada ***“Estudio de la socavación local en pilas circulares de puentes en lechos no cohesivos con modelación física en laboratorio.”***, en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, cuyo **objetivo general** fue realizar la construcción y operación de un modelo, con el fin de analizar las variables que inciden en la generación de la socavación local en pilares de puentes. El **tipo de investigación** fue experimental, puesto que el autor manipuló las variables para estudiar las relaciones de causa y efecto entre ellas. El autor **concluyó que**, en base en los resultados obtenidos en el laboratorio para un pilar, se puede concluir que en condiciones de flujo subcrítico la profundidad de la socavación local está directamente relacionada con el caudal ( $Q$ ), ya que a medida que éste se

incrementa aumenta la socavación. Para el caso particular del modelo físico operado en este estudio, el incremento del caudal aumenta la velocidad media de la sección, la cual, a su vez, incrementa los esfuerzos cortantes, por lo tanto se recomendó realizar más ensayos incrementado el número de pilas alineadas en el sentido transversal y longitudinal al flujo con diferentes separaciones entre ellas, con el fin de evidenciar la incidencia del número de pilas, la separación y el sentido con respecto al flujo en la generación del fenómeno de la socavación local.

**Castellano** (2016), en su tesis titulada ***“Evaluación del impacto de las alteraciones climáticas en un puente de concreto pre esforzado”***, para obtener el grado de magister en Ingeniería Civil Área de Especialización de Estructuras y Geotecnia en la universidad do Minho, donde tuvo como **objetivo general** fue análisis de sensibilidad, modelando y se determinó evaluando numéricamente posibles escenarios de socavación en las cimentaciones del Nuevo Puente Gómez Ortiz, los cuales fueron identificados mediante la monitorización de la estructura, teniendo como premisa las variaciones del comportamiento dinámico del puente, siendo la base de una estrategia de contención y prevención del daño a ocasionarse; sabiendo que toda variable dinámica está sujeta a la estructura. El **tipo de investigación** fue experimental, así mismo se trabajó con una población del nuevo Puente Gómez Ortiz, ubicado en el departamento de Santander, Colombia. Esta estructura que cuenta con dos luces principales de 170 metros de longitud y dos vanos extremos de 85 metros cada uno; usando como muestras los cálculos del programa Midas Civil 2016. El autor **concluyó que** mediante todo su análisis que el fenómeno de socavación o pérdida de material ocasionado por la cimentación en el puente, esto refleja una disminución en las frecuentes vibraciones en la obra de arte; como se esperaría a mayor profundidad mayor sería la socavación; haciéndose la estructura menos rígida y frecuencia de vibraciones mínimas. Por último, se denota que la socavación no altera masas presentes; solamente influye en la rigidez del puente y en este caso ocurre una profundidad de 4 metros con respecto a la ubicación de las zapatas.

**Mora y navarro** (2015) en su investigación para lograr la titulación en ingeniería civil nombrada ***“Comparación de diversas metodologías para estimación de***

**socavación en varios puentes de la provincia de Esmeraldas**”, sustentada en la escuela superior politécnica del litoral, en la escuela de ingeniería en ciencias de la tierra; cuya **objetividad general** fue determinar y conocer la profundidad de socavación general en los puentes ubicados en zonas fluviales mediante los diversos métodos semiempíricos como el de Lischtván, Laursen y método de programación HEC-18. Así mismo, empleo como metodología un enfoque experimental, usando modelos de los ríos mediante el programa HEC-RAS, hojas de cálculo, material del lecho, ensayos de suelos, tipo de sedimentos del área estudiada; obteniendo los autores los siguientes resultados, los cálculos hallados de la socavación general donde resultó valores negativos demuestran que en la abscisa estudiada no se presentaría el fenómeno de socavación. No obstante, podría presentarse la sedimentación, siendo un fenómeno de cuidado para la obra de arte. Sin embargo, esto debería ser comprobado con los métodos de gradación en ríos, ya que las metodologías utilizadas en la investigación están diseñadas para estimar socavación. Finalmente, el autor **concluyó que** al determinar la socavación general mediante el método de Laursen, se obtiene un valor “ys” siendo la profundidad promedio de socavación, por otro lado, si se usa el método de Lischtván Lebediev se determinan profundidades de socavación en puntos específicos, todo ello depende del tirante situado en el mismo punto. No obstante, fue indispensable distribuir la profundidad promedio obtenida para cada punto de la sección transversal del puente para poder comparar ambos métodos.

Sirumbal (2017), en su artículo científico titulado **“Mitos y verdades sobre el colapso del puente Solidaridad”**, publicado en la plataforma LinkedIn, siendo el **objetivo general** de este artículo fue explicar el motivo del colapso del puente solidaridad, donde indica que claramente la estructura colapso debido a la socavación, dado que la cimentación fue socavada ocasionando que un estribo simplemente pierda la estabilidad estructural y caiga. Como **conclusión** de su investigación el autor desmintió las siguientes premisas; premisa 1: un puente atirantado bien diseñado solo se puede sostener por los tirantes, y no es necesario de apoyos adicionales; premisa 2: la catenaria, donde hablan de tirantes- adorno; premisa 3: los tirantes tenían como finalidad el resistir la caída del puente; premisa 4: los tirantes no sirven solo están de adorno; todas estas afirmaciones falsas que

hicieron algunos personajes políticos entre otros tienen una respuesta a nivel ingeniería estructural. Sirumbal asevera que el colapso del puente de solidaridad cuyo modelo es atirantado no responde a un mal diseño estructural; como han especulado algunos aficionados de la ingeniería o políticos sin conocimientos previos; indica que la respuesta ante el colapso del puente se dio debido a la falta de protección del estribo; ese fue el problema ocasionado claramente por el fenómeno de socavación, resaltando también que la ingeniería no fue superada por la naturaleza; dado se pudo haber sido evitado dicho acontecimiento tomando las precauciones pertinentes y también se debió realizar una inspección en los ámbitos geográficos y hidrológicos; como por ejemplo la ubicación geográfica del puente y considerando que los niveles del caudal del río suelen incrementar debido al fenómeno del niño costero.

**Rivera y Nuñez** (2016), en su artículo científico titulado ***“Vulnerabilidad estructural de puentes por socavación”***, de la Revista Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, cuyo **objetivo general** fue poder determinar los principales parámetros de las áreas de hidrología, hidráulica y mecánica de suelos, combinándolos así con la ingeniería; teniendo como único fin el tener una apreciación cualitativa y cuantitativa de la estabilidad estructural de los puentes. El **tipo de investigación** fue de carácter no experimental; para poder realizar esta metodología se tomó como referente casos de puentes carreteros con distintos tipos de cimentación ubicados en Tabasco, donde se tuvo casos de puentes que colapsaron en las ciudades de Coatan y Tepuzapa; siendo esta una de las más vulnerables ante el fenómeno de socavación debido a una gran demanda hidráulica de la sección, pudiéndose ver el tema de desbordamientos ocasionando el daño en los terraplanes de acceso del puente. Los autores **concluyeron que** es fundamental el lograr integrar estudios preliminares de las áreas a participar en el diseño de un puente para poder obtener una óptima estimación de la socavación vinculando término suelo- estructura ante la pérdida del efecto socavación y la vulnerabilidad que podemos evitar que sufra el puente, logrando crear una estructura robusta y duradera que es lo que se busca en todo análisis a nivel de ingeniería.

**Toapaxi, Galiano y Castro** (2015), en su artículo científico titulado “**Análisis de la Socavación en Cauces Naturales**”, de la Revista Politécnica, Vol. 35, Nro. 3, Siendo el **objetivo general** de esta investigación el poder analizar los procedimientos de cálculo de los diferentes tipos de socavación mediante diagramas de flujo, fundamentados con resultados recopilados de varios autores que enfatizaron el análisis de crecidas e implantación de obras en las regiones a construir puentes. Los autores deducen que siempre se tiene que evaluar los dos tipos de socavación la general y local; en donde la socavación general, es la disminución del fondo por el incremento del arrastre de sedimentos, ocasionado por las crecidas; siendo consecuencia clara del régimen del flujo y se puede dar con o sin la presencia de una obra humana en el cauce; por otro lado la socavación local se origina por la presencia de estrechamientos, estructuras o curvas suscitadas en la corriente del río, ocasionando el aumento del flujo siendo capaz de remover material del lecho de esta relieve natural. Ambas tipologías de la socavación deben ser evaluadas en los parámetros geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y sedimentológico que influyen en la metodología para el cálculo de la socavación donde se toman formulaciones semiempíricas de autores como Lacey, Biench, Maza, Lischtwan y Kellerhais quienes analizaron la socavación general; por otro lado autores como Laursen, Parkery Richardson se enfocaron en el cálculo de socavación local, se debe tomar en cuenta tanto los parámetros como los métodos de cálculo en la socavación para obtener un óptimo diseño de una obra de arte que sirva como medio de transporte para una población; en este caso un puente.

**La socavación** es un fenómeno hidrodinámico y es la causa más frecuente de falla que afecta las cimentaciones de los puentes. Dicho fenómeno es una combinación de distintos procesos, unos que se producen a largo plazo y otros transitorios por el paso de avenidas. Para la estimación de la profundidad de socavación, el período de retorno mínimo deberá ser igual al utilizado en el diseño del puente y para un caudal de no más de 500 años de periodo de retorno que es el caudal para verificar la estabilidad de la cimentación del puente. En ese caso, se considera que se trata de un evento extremo. <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 99)

El transporte sólido está formado por las partículas en suspensión y por las de fondo. En lo que respecta a este último modo de transporte, y para efectos de la erosión local, es muy importante la curva de distribución granulométrica de las partículas que lo constituyen. Es así como una distribución granulométrica extendida protege de la erosión. Por el contrario, la granulometría casi uniforme, como la de una arena fina, aumenta el peligro de erosión. En general, en el cálculo de la profundidad de socavación en lechos arenosos, no influye el tamaño de los granos. Cuando hay partículas mayores puede producirse, para un cierto caudal, el acorazamiento del lecho, lo que implicaría la disminución de la socavación.<sup>3</sup> Para el presente estudio se tendrá en cuenta las características granulométricas del río Rímac.

Se consideró datos estadísticos proporcionados por las diferentes instituciones meteorológicas, se recomienda para obtener la Avenida de Diseño o el caudal máximo en la sección de interés de un cauce natural (río o quebrada) además de los métodos de análisis regional e hidráulico (sección-pendiente y modelamientos), existen dos formas más comunes de obtenerlo; la primera consiste en la aplicación de teorías estadísticas a series históricas de caudales máximos (método hidrológico) registrados en el tramo fluvial de interés o cercano a él; la segunda forma, se refiere a los métodos indirectos mediante el uso de relaciones precipitación escurrimiento (método hidrometeorológico), a partir de información pluviométrica registrada en el área o cuenca hidrográfica de interés.<sup>4</sup>

La geometría de los pilares influye decisivamente en el nivel de socavación y dado que el ancho del pilar es sumamente importante en el cálculo de la socavación, se sabe que mientras mayor sea el ancho del pilar (entendiendo como tal su dimensión en el sentido normal al de la corriente), mayores serán las posibilidades de una socavación más intensa. De acá que haya que preferir pilares delgados.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 92)

<sup>4</sup> (ROCHA FELICES, 2013 pág. 16)

<sup>5</sup> (ROCHA FELICES, 2013 pág. 17)

Para la estimación de la socavación local en estribos es muy importante la recomendación de algunos métodos para su determinación, entre ellos podemos mencionar Liu, Chang y Skinner, Laursen, Artamonov, Froehlich, Hire y Melville. Sin embargo, la incertidumbre existente con relación a la aplicabilidad y a los resultados de las ecuaciones es mayor que para el caso de la socavación local en pilares.<sup>6</sup>

Todas las ecuaciones existentes tienen limitaciones de tipo práctico. Por ejemplo, las ecuaciones han sido desarrolladas para cauces de lecho arenoso y no tienen en cuenta la posibilidad de acorazamiento. Las ecuaciones para el cálculo de la socavación local en estribos se basan en información de laboratorio y muy poca información de campo existe para su verificación. Casi todas las ecuaciones dan como resultado valores muy conservadores de socavación debido a que consideran que el estribo está en el cauce principal formado por lechos aluviales y asumen que el caudal de agua obstruido es proporcional a la longitud del estribo, lo cual raramente ocurre en la realidad. El especialista debe determinar la ecuación que mejor se ajusta a las condiciones de un puente en particular.

La socavación local en los estribos depende, entre otros, de la forma del estribo, las características del sedimento, la forma de la sección transversal, la profundidad del flujo en el cauce principal y en las márgenes, el caudal que es interceptado por el estribo y retorna al cauce principal, el alineamiento del cauce, el tiempo de duración de la creciente, etc., factores que no se reflejan debidamente en las ecuaciones existentes.<sup>7</sup>

**Los factores que afectan la socavación** son el nivel hidrológico, geomorfológico y geotécnico.

Los **parámetros geomorfológicos** que intervienen en el proceso de socavación son los que determinan la forma longitudinal, transversal y en planta de la superficie del cauce del río y su variación a través del tiempo. Los parámetros geomorfológicos

---

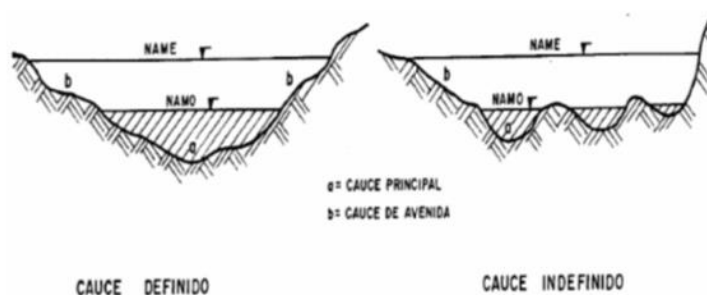
<sup>6</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 129)

<sup>7</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 139)



más importantes que intervienen en la socavación local en estribos son la pendiente longitudinal y las características de la sección transversal. <sup>8</sup>

Con respecto a la **sección transversal** se puede afirmar que las magnitudes y frecuencias de estas variaciones dependen del régimen de caudales, de la capacidad de transporte de sedimentos, y del grado de estabilidad del cauce. Dependiendo del patrón del canal, el cauce en un tramo o sección dado puede ser definido o indefinido. El canal se entiende es la franja por donde corre el río en un momento determinado. <sup>9</sup>



*Figura 2. Tipos de cauces*

Un **Cauce definido** es donde la vía de estiaje se desplaza por único canal con rangos bien definidos.

Un **Cauce indefinido** es donde la vía se desplaza por cauces minúsculos en una misma sección transversal.

Los **tipos de sistemas fluviales** se conforman por la franja o área por donde pasan los ríos. Cualquier sistema fluvial es cuantiosamente móvil, debido esencialmente a las grandes condiciones dinámicas que ocasiona el agua. <sup>10</sup>

Este sistema de procesos implica la degradación por la acción del agua en movimiento; a lo que se denomina dinámica fluvial. En la figura 03 se observa los dos principales de sistemas fluviales, siendo el de lecho simple y de lecho múltiple.

<sup>8</sup> (GUEVARA Alvarez, 2016 pág. 24)

<sup>9</sup> (SOTO Amador, 2013 pág. 35)

<sup>10</sup> (MARTINEZ Lopez, 2007 pág. 36)

TIPO DE CAUCE		CARGA DE FONDO	CARGA MIXTA	CARGA EN SUSPENSIÓN	
A - Morfología	CANAL SIMPLE	FORMA DEL CAUCE Rel. ancho/profundidad	60	25	8
	CANAL SIMPLE	PATRON DEL CANAL	1.0 1.1	1.4 1.7	2.5
	CANAL MULTIPLE	PATRONES	Abenico aluvial	Cuenca de inundación	Planicie aluvial
	CANAL MULTIPLE	Asociaciones	Abenico aluvial	Cuenca de inundación	Planicie costera de delta
B-Depósitos	CANAL SIMPLE	DEPOSITO DE CAUCE			
	CANAL MULTIPLE	DEPOSITO DE VALLE			

Figura 3. Tipos de sistema fluvial

La **geomorfología del cauce** es la encargada de estudiar los cambios que sufre la superficie terrestre, en un intervalo de tiempo a largo plazo; siendo ocasionado por los llamados factores geomorfológicos. Un río puede variar debido a características como su ancho, el curso, profundidad y el régimen de manera temporal o progresiva. La cota de un lecho en el canal del río debido a las elevaciones de barras o grandes dunas no puede ser uniforme en la sección transversal. <sup>11</sup>

Se sabe que los fenómenos naturales pueden ocurrir de manera espontánea, los factores externos y sobre todo las actividades del hombre, ya sean construcción de represas, explotación de corriente o cualquier alteración del canal conllevara a cambios importantes en el relieve afectado. Estos cambios se dan mayormente en el cauce del ponteadero, modificando el equilibrio natural del lecho; así mismo los ríos aluviales tienen una mayor posibilidad de variación en las pendientes de degradación o la sedimentación.

Los **Patrones del Cauce** se refiere a los tipos de curvas y forma de los ríos en planta que se originan en las diversas zonas durante su recorrido; generalmente se dividen en trenzados, meandricos y rectos. <sup>12</sup>

Para la tipología de los ríos según el patrón de curvas, se utiliza la dependencia de las longitudes del valle y del cauce que drena; a ello se llama definición de sinuosidad.

<sup>11</sup> (MARTINEZ Lopez, 2007 pág. 37)

<sup>12</sup> (MARTINEZ Lopez, 2007 pág. 40)

Los **Cauces rectos** son aquellos que tienen un alineamiento rectilíneo, siendo poco comunes, su presencia se da en tramo cortos, su principal característica es tener una sinuosidad muy baja; así mismo poseen bajas pendientes, pozos alternando con partes menos profundas donde se tiene un flujo de mayor velocidad. En este tipo de cauce la erosión se da a lo largo de los pozos y la sedimentación ocurre a lo largo de playones y barras. Normalmente los cauces rectos están controlados por dislocaciones tectónicas como las fallas, grietas, diaclasas entre otras.

Los **Cauces trenzados** son aquellos que poseen varios brazos o canales que se entrelazan para luego separarse dentro del cauce principal; a causa de las variaciones de pendiente transversal y longitudinal; comúnmente se forman lechos amplios, continuos y rápidos; estas se llegan a cubrir de vegetación. Estos cauces se caracterizan principalmente en el aumento súbito de la carga aluvial debido a las crecidas y la pérdida de capacidad de arrastre al minorara la pendiente o el caudal; comúnmente se desarrollan en tramos montañosos de los ríos, arroyos de las planicies glaciales y corrientes de los abanicos aluviales.

Los **Cauces meandricos** tienen pozos o depresiones bien determinadas, en estos casos las curvas se van desplazando y el cauce cambia con el tiempo, lo que origina un proceso conocido como meandrificación de los ríos, estos ríos deben tener una sinuosidad mayor a 1,5. <sup>13</sup>

En la siguiente figura 4. Podemos observar los tipos de cauces según su patrón de origen

---

<sup>13</sup> (MARTINEZ Lopez, 2007 pág. 41)

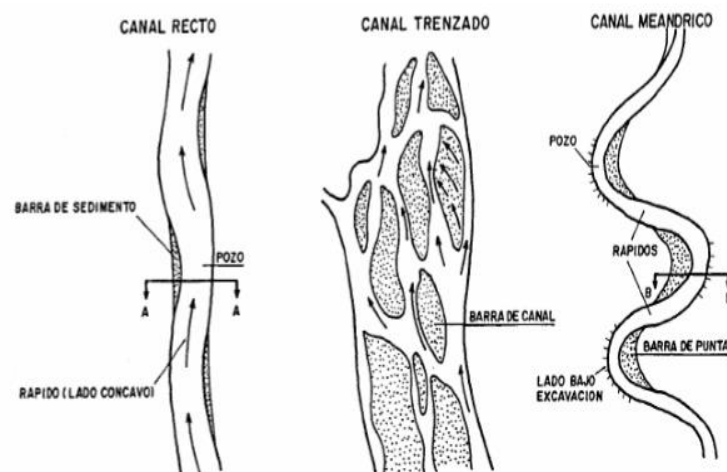


Figura 4. Tipos de cauces según su patrón

Cabe indicar que la erosión general de fondo es la acción de un flujo de agua definido simplemente de una velocidad media, dándose en los tramos largos del cauce y sería fundamental en un cauce prismático, recto y sin ninguna singularidad. Por otro lado, La erosión local de fondo se presenta por la acción de un flujo más engorroso, que en una sección de la corriente (horizontal o vertical) teniendo una descripción bidimensional de las velocidades.

La erosión local perjudica una pequeña superficie, presentando el flujo local una gran turbulencia y desarrolla vórtices. De igual de manera la distinción espacial puede convertirse en una clasificación temporal de la erosión. Existe erosión transitoria y permanente, La erosión transitoria es la disminución del fondo durante la fase ascendente de una avenida., cuando esta crece y la superficie libre sube, descende por su parte el fondo del cauce aluvial; por el contrario, cuando decrece la avenida y baja la superficie libre, induce el ascenso del fondo rellenando el espacio erosionado de forma transitoria. La erosión permanente se da a largo plazo, provocado de manera natural por un desequilibrio geomorfológico quizás causado por el hombre. Un río puede presentar de modo natural una tendencia a la socavación en los tramos altos y al relleno o sedimentación en los tramos bajos de modo que se dé la evolución morfológica para un perfil de equilibrio.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> (MARTIN Vite, 2001 pág. 35)

La **Hidrología** es la ciencia natural encargada de estudiar el agua, en los parámetros de circulación, ocurrencia y distribución en la superficie terrestre, sus características físicas, químicas y la relación con el medio ambiente, implicando los seres vivos. <sup>15 16 17 18</sup>

La distribución temporal y espacial del agua se transforma a través de procesos hidrológicos, como el ciclo del agua. Las propiedades físicas influyen en el movimiento del agua en un sistema hidrológico, como por ejemplo la forma y el tamaño de sus líneas de corriente, y por la correlación del agua con otros medios tal es el aire y el calor. <sup>16</sup>

**Caudal** Conforme se designa caudal o gasto, al volumen de agua que circula por una sección transversal por unidad de tiempo, en el cual la unidad de medida generalmente empleada es m<sup>3</sup>/s. <sup>17</sup>

Para el ingeniero hidrólogo, el caudal es una variable dependiente generalmente en los estudios desarrollados, dado que la ingeniería hidrológica se ocupa principalmente a calcular volúmenes de flujo, la acción del hombre genera también alteraciones en los valores estimados. <sup>18</sup>

Existen diversas metodologías para hallar los caudales existentes, esto depende del tipo de información que se tenga, siendo de tipo pluvial o fluvial; si se tiene datos pluviométricos, estos son deducidos directamente mediante el estudio de frecuencia del gasto medido, por otro lado, si hay información pluviométrica, el crecimiento es evaluada a través de prototipos que se basan en las peculiaridades de la morfometría de la cuenca analizada. <sup>19</sup>

Los valores máximos son de suma importancia al estimar los caudales. Una caudal punta, es cuando se haya un caudal máximo, sobrepasando valores comunes. El hidrograma inundaciones, es un indicador elevado de la curva. El cómputo de estos

---

<sup>15</sup> (VILLÓN Máximo, 2002 pág. 24)

<sup>16</sup> (CHOW Ven, 1994 pág. 19)

<sup>17</sup> (PIZARRO y otros, 1993 pág. 90)

<sup>18</sup> (LINSLEY y otros, 1988 pág. 35)

<sup>19</sup> (PIZARRO y otros, 1993 pág. 92)

caudales es la principal preocupación de la ingeniería hidrológica, cuyo fin es que los resultados sean apropiados en el diseño y ejecución de obras. <sup>20</sup>

Los **parámetros hidráulicos** son los agentes de la intensidad de flujo y su comportamiento en el proceso de socavación son determinados por los parámetros hidráulicos. Estos parámetros engloban a la velocidad del flujo, profundidad del agua y régimen de flujo son los que se detallan a continuación.

**Régimen de flujo** en un ramal particular de una corriente natural se cataloga en función del Número de Froude, siendo una correlacional adimensional entre la gravedad y fuerzas de inercia. En el régimen supercrítico ( $F > 1$ ) el flujo es de mayor velocidad, típico de cauces de gran pendiente. Por otro lado, El flujo subcrítico ( $F < 1$ ) pertenece a un régimen de llanura con baja velocidad, finalmente el flujo crítico ( $F = 1$ ) es el estado teórico en corrientes naturales y se denomina el punto de transición entre los regímenes supercrítico y subcrítico. <sup>21</sup>

Al acrecentar la **profundidad del agua** por el crecimiento del caudal, incrementa la profundidad de socavación puesto que se eleva el efecto del flujo hacia abajo en frente de la pila. Guevara (2016); indica que Ettema (1980), Chiew (1984) y otros, citado por Guevara (2016), señalan que la profundidad de socavación incrementa de manera que la profundidad del flujo presentando un valor límite de la relación  $h/a$ , donde no se presenta influencia de la profundidad del flujo. Se estima que para resultados prácticos la profundidad de socavación se separa de la profundidad del flujo cuando  $h/a$  debe ser mayor que 3m. <sup>22</sup>

Por otro lado, Las investigaciones de Melville, producen como resultados valores de profundidad de socavación en el intervalo de 2.6 y 3.5. En la siguiente figura 5, se puede ver la influencia de la conexión existente entre lo profundo del agua y la anchura del pilar respecto a la socavación. <sup>23</sup>

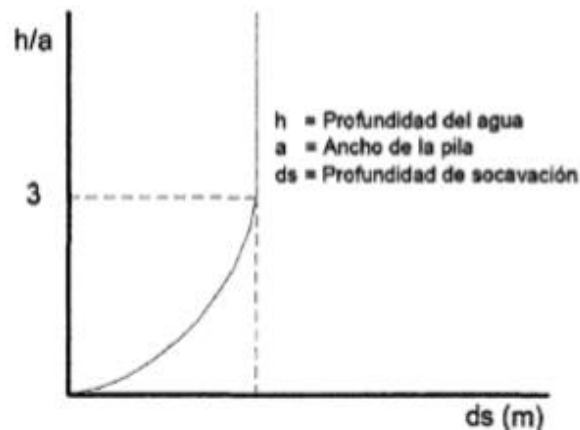
---

<sup>20</sup> (LINSLEY y otros, 1988 pág. 36)

<sup>21</sup> (CHOW Ven, 1994 pág. 20)

<sup>22</sup> (GUEVARA Alvarez, 2016 pág. 108)

<sup>23</sup> (MELVILLE y otros, 1988)



*Figura 5.* Influencia de la relación de la profundidad del agua y el ancho de la pila

El aumento de la **velocidad del flujo** genera una mayor socavación, habiendo una amplia evidencia con respecto a la relación entre la máxima profundidad de socavación se da bajo condiciones cruciales para el comienzo del transporte de sedimentos, es decir la frontera entre la situación de un lecho móvil y de agua.

La socavación local en una pila empieza cuando la velocidad cortante o la velocidad del flujo exceden aproximadamente la mitad de la velocidad crítica para inicio del movimiento de partículas en el lecho  $CV > 0.5 V_e$ . Se ilustra el comportamiento de la profundidad de socavación con la velocidad. En ella se ve que la profundidad de socavación alcanza un máximo de aproximadamente 2.3 el ancho de la pila prácticamente en cercanías de las condiciones críticas para movimiento de sedimentos. La presencia de rizos en el lecho disminuye las profundidades de socavación. <sup>24</sup>

Después de este pico, las profundidades de socavación disminuyen como consecuencia del paso de sedimentos que vienen desde los tramos del río ubicado aguas arriba; las mínimas profundidades de socavación ocurren cuando las dunas tienen altura máxima. Un segundo pico se alcanza después y a medida que la velocidad del flujo aumenta.

<sup>24</sup> (ESPINOZA Figueroa, 2010 pág. 35)

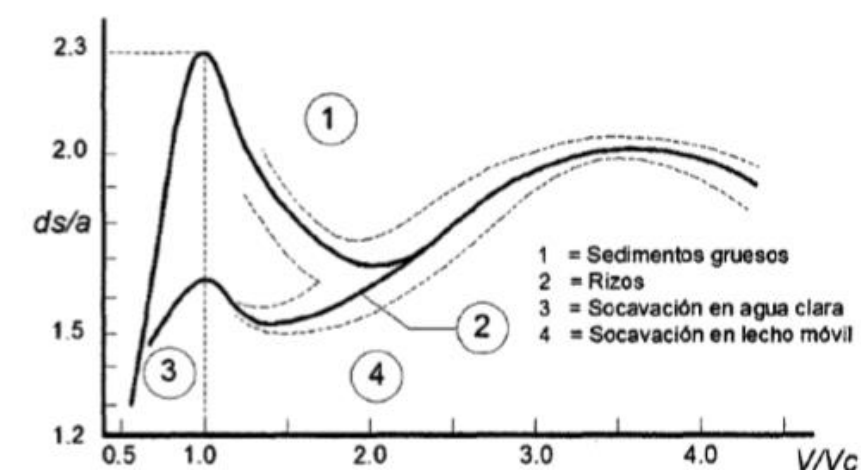


Figura 6. Variación de parámetros

Para la mejor comprensión de la teoría de **transporte de sedimento** es conveniente tener siempre presente lo dicho por H.A. EINSTEIN, quien fuera estudioso de los problemas de transportes de sedimentos y autor de una conocida fórmula para el cálculo del gasto sólido de fondo, toda partícula sólida que pasa por una sección del río debe satisfacer las dos condiciones siguientes, a) debe provenir de la erosión de un punto de la cuenca situado aguas arriba de la sección considerada, b) debe haber sido transportada por la corriente desde el punto de erosión hasta la sección considerada.

Cada una de estas dos condiciones limita la cantidad de sedimentos a través de la sección considerada en función de la disponibilidad de sólidos en la cuenca y la capacidad de transporte de la corriente.<sup>25</sup>

Todo problema de transporte de sólidos debe ser atacado mediante un sistema de aproximaciones sucesivas. El análisis de los aspectos sedimentológicos de un río debe necesariamente partir del estudio y conocimiento de la cuenca. La cantidad y característica de los sedimentos fluviales depende de la geología y geomorfología de la cuenca y los agentes extremos que actúan sobre ellas. Uno de los datos que sería de mucha utilidad para el diseño de las estructuras hidráulicas son conocer la cantidad de material sólido que puede transportar un cauce natural o que transporta en un determinado momento. Con el fin de obtener esta información podríamos recurrir al empleo de una fórmula o la medición in-situ y obtener un determinado

<sup>25</sup> (ROCHA FELICES, 2013 pág. 19)



número de m<sup>3</sup>/día de material sólido. Este gasto sólido así obtenido constituirá, en el mejor de los casos nada más que una referencia de lo que pueda suceder en la realidad y veamos por qué hacemos esta afirmación: en principio existen muchas fórmulas experimentales que se puede usar, necesitaríamos conocer o utilizar a una de ellas teniendo en cuenta las condiciones en la que se obtuvo y al emplearla estaríamos obteniendo el gasto sólido correspondiente a la máxima capacidad del transporte, situación que por otro lado no va ser permanente en un cauce determinado.<sup>26</sup>

Los **parámetros geotécnicos** son los que tienen mayor incidencia en el proceso, ya que estos parámetros determinan todas las propiedades de los materiales que se encuentran en el lecho de socavación. Estos materiales están en contacto directo con el flujo del agua y la pila del puente. El estudio de socavación considera varios parámetros geotécnicos, uno de los más significantes es la granulometría.<sup>27</sup>

La **curva granulométrica** del material del lecho es fundamental en la determinación de los diámetros característicos de las partículas, ya que permiten establecer si se va a utilizar un solo diámetro como representativo para calcular la tasa de transporte de sedimentos o si se deben emplear intervalos de clase, o en caso de socavación se debe usar el D50 para la estimación de profundidad por socavación.<sup>28</sup>

Socavación, fenómeno peculiar originado por la excavación profunda del elemento agua; el cual tiene una tipología para un mejor estudio; cómo podemos apreciar en la figura 7, típica la socavación en dos grandes grupos localizada y la general.<sup>262728</sup>

---

<sup>26</sup> (LESCANO Rocha, 1969 pág. 50)

<sup>27</sup> (GUEVARA Alvarez, 2016 pág. 20)

<sup>28</sup> (GUEVARA Alvarez, 2016 pág. 25)

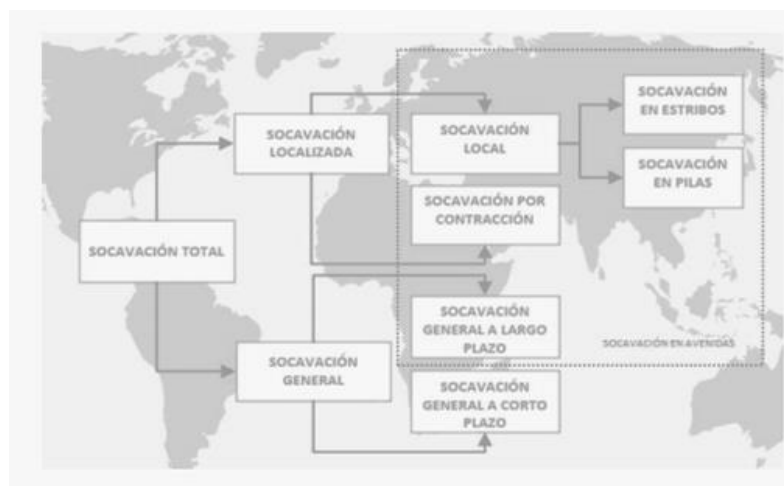
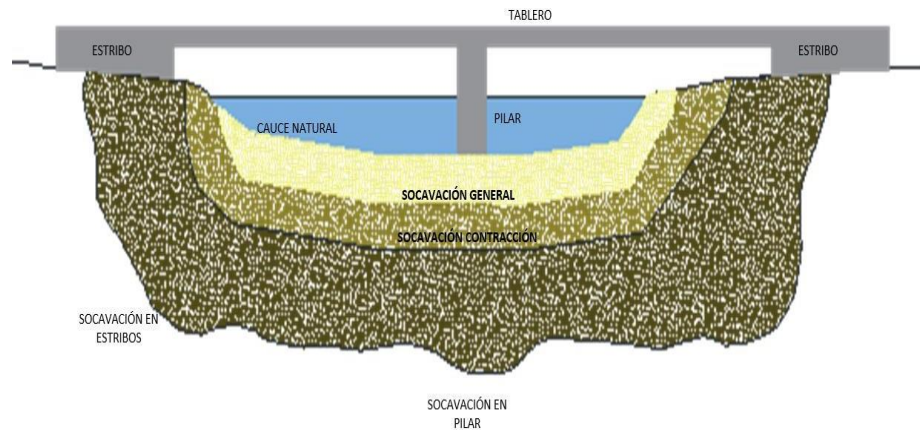


Figura 7. Clasificación de los tipos de socavación

**Socavación general**, se infiere que una vez calculada y, si se presentara el caso la socavación por contracción o estrechamiento, se plantea a diagnosticar la erosión local producida por estribos y pilares. Por lo tanto, se entiende que debemos hallar en primera instancia la socavación general, en segundo lugar, la socavación local en estribos y en pilares, en tercer lugar, la socavación por estrechamiento, y finalmente determinar la socavación potencial total.<sup>29</sup>

El descendimiento común del fondo del río es conocida como socavación general; y se debe origina primordialmente por la fuerza del flujo del agua conllevando a un mayor espacio para que la corriente pueda trasladar y arrastrar sedimentos del lecho; aconteciendo este fenómeno en todo el trayecto del río, este efecto no necesariamente se debe la ejecución de construcciones desarrolladas por el hombre. Cabe indicar que la socavación general más frecuente en el Perú es debido a la contracción del flujo, siendo esta originada por la disminución del ancho del flujo; dígase causas fabricados o naturales.

<sup>29</sup> (ROCHA FELICES, 2013 pág. 13)



*Figura 8. Socavación en estribos y pilares*

En la figura 8, Podemos visualizar la imagen de una obra de arte, puente, construido por encima de un río; el cual es vulnerable al fenómeno de socavación.

**Método de Velocidad Crítica y Agua Clara**, este procedimiento utiliza el raciocinio del principio de movimiento del fondo granular a estudiar mediante un flujo permanente, en el cual sugiere que para resolver la socavación general máxima solo se alcanzara cuando la velocidad crítica llega a ser igual a la velocidad media de la sección.

Método de Llichtvan – Levediev. Para suelos granulares, este el método más empleado en nuestro país, puesto que se implica el efecto de socavación por contracción de un puente, considerando los algunos parámetros como los hidráulicos, geométricos, de fondo y la ubicación del puente.<sup>30</sup>

Para hallar la socavación general a través del método empírico precisaremos los siguientes factores:

**a) Para suelos granulares:**

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \mu \phi D_m^{0.28}} \right]^{1/1+z}$$

**b) Para suelos cohesivos:**

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h^{5/3}}{0.60 \beta \mu \phi \gamma_s^{1.18}} \right]^{1/1+x}$$

Donde:

H<sub>s</sub>: Fondo de la socavación (m)

<sup>30</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 10)

- $\alpha$ : Factor de sección o de distribución de gastos  
 $Q_d$ : Caudal de diseño  
 $H_o$ : Tirante antes de la erosión  
 $\beta$ : Coeficiente de frecuencia  
 $\mu$ : Factor de corrección por contracción de cauce  
 $\phi$ : Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos  
 $D_m$ : Diámetro medio (mm)  
 $H_m$ : Profundidad media de la sección  
 $Be$ : Ancho efectivo de la superficie del líquido en la sección transversal. <sup>31</sup>

Ante las ecuaciones expuestas; hay que tener en cuenta que el valor de coeficiente de contracción se tomara de siguiente tabla:

**Tabla 1.** Factor de corrección por contracción del cauce  $\mu$

Velocidad media en la sección en m/seg	Longitud libre entre dos estribos												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Fuente: Reproducido de (Manual de Hidrología, 2012 pág. 107)

Por otro lado, se debe calcular la profundidad media de la sección ( $H_m$ ); esta se hallará mediante la siguiente expresión:

$$H_m = \frac{Area}{Be}$$

Como podemos observar en la ecuación; el  $h_m$  es una división de la superficie de la sección a estudiar con respecto al coeficiente de frecuencia ( $Be$ ), este valor tendrá que ser tomado de acuerdo con la probabilidad de tiempo de regreso del

<sup>31</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 10)

caudal de diseño (años); dicho valor lo encontraremos en la tabla 2 que expondremos a continuación:<sup>32</sup>

**Tabla 2.** *Valores de coeficiente*

PROBABILIDAD (EN % DE QUE SE PRESENTE EL CAUDAL DE DISEÑO)	COEFICIENTE B
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.90
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.30	1.03
0.20	1.05
0.10	1.07

Fuente: (Maza, 1967 pág. 142)

Así mismo, hallar el valor de corrección tendremos que evaluar y tener en conocimiento el valor del diámetro del material pues tiene una correlacional.<sup>33</sup>

**Tabla 3.** *Multiplicador de consideración por carácter de viaje de sedimentos*

SUELOS NO COHESIVOS	
dm (mm)	$\Phi$
6.00	0.36
8.00	0.35
10.00	0.34
15.00	0.33
20.00	0.32
25.00	0.31
40.00	0.30
60.00	0.29
90.00	0.28
140.00	0.27
190.00	0.26
570.00	0.21
1000.00	0.19

Fuente: (Maza, 1967 pág. 143)

<sup>32</sup> (MAZA J., 1967 pág. 142)

<sup>33</sup> (MAZA J., 1967 pág. 143)

Finalmente, con los datos recolectados se reemplazará en la ecuación final para el cálculo de socavación general que es la siguiente:

$$H_s = \frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.68 \beta \mu \phi D_m^{0.28}}$$

El método de Straub se emplea para alcanzar un valor estimado de la socavación máxima que depende de la función con respecto al ancho de la superficie.<sup>34</sup>

$$H_s = \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^{0.642} h_1$$

Donde:

$H_s$  = Fondo de socavación (m).

$B_1$  = Holgado de la superficie libre del cauce aguas arriba de la contracción

$B_2$  = Holgado de la superficie libre del cauce en la contracción.

$h_1$  = Tirante de agua hacia aguas arriba de la contracción

El **Método de Laursen** es peculiar puesto que estima las dos formas de socavación que puede darse en una cuenca, este método es el más empleado en los Estados Unidos de América.

Para este Cálculo de socavación por contracción en un lecho móvil emplearemos la siguiente ecuación:

$$\frac{H_s}{h_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^{\frac{6}{7}} \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^{k_1}$$

La expresión mostrada se basa en la consideración de la muestra del lecho del río que se transporta en la vía con respecto a aguas arriba sobre la estructura.<sup>35</sup>

<sup>34</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 12)

<sup>35</sup> (GUEVARA Alvarez, 2016 pág. 135)

**Tabla 4.** Factor de transportación de material de fondo

$V^* / \omega$	K1	MODO DE TRANSPORTE DEL MATERIAL DEL FONDO
< 0.50	0.59	Mayoría de descarga del material en contacto con el lecho.
0.50 a 2.0	0.64	Alguna descarga del material del fondo en suspensión.
> 2.0	0.69	Mayoría de descarga del material del lecho suspendida.

Fuente: (Manual de Hidrología, 2012 pág. 111)

Siguiendo con los cálculos; en la siguiente formula se expone cómo determinar la velocidad.<sup>36</sup>

$$V^* = \sqrt{g * h_1 * s}$$

$V^*$  = Velocidad cortante en el cauce de la sección aguas arriba (m/s)

$\omega$  = Velocidad de caída del material del fondo basado en el D50 (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$S$  = Pendiente de la línea de energía del canal principal (m/m)

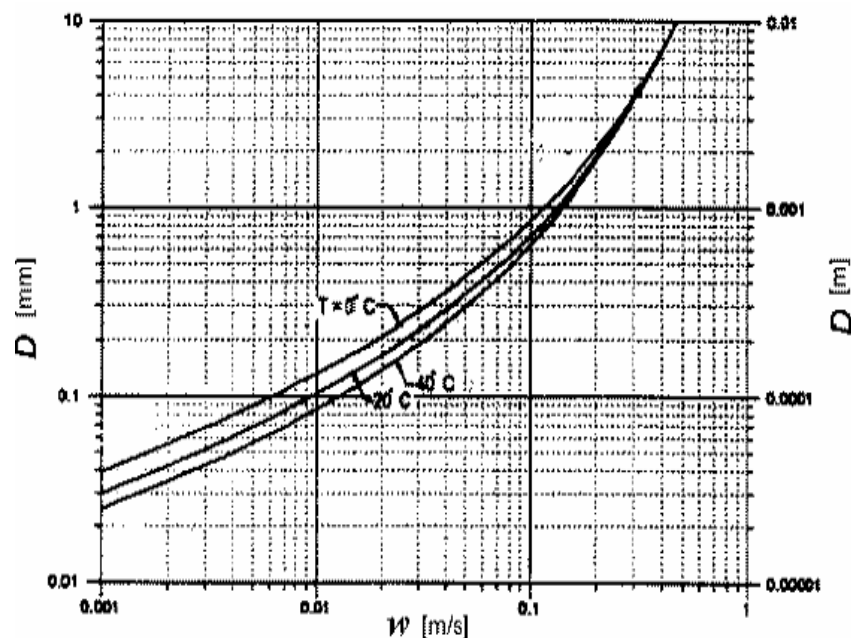


Figura 9. Velocidad de caída ( $\omega$ ) en función del tamaño de las partículas de arena

<sup>36</sup> (GUEVARA Alvarez, 2016 pág. 136)

Como podemos ver en la figura 9, Mediante las tablas podemos encontrar la velocidad en relación con el tamaño de las partículas de arena; aquí se resalta el factor de la granulometría del elemento.<sup>37</sup>

Dónde:

$\Delta s$ =Socavación (m)

$H_s$ =Profundidad de socavación (m)  $h$  =Profundidad promedio inicial (m)

$H_1$ = Profundidad promedio aguas arriba

$Q_1$ = Caudal principal en la sección aguas arriba del puente ( $m^3/s$ )

$Q_2$ = Caudal principal en la sección contraída, la cual transporta sedimentos ( $m^3/s$ )

$B_1$ = Ancho de la superficie libre del flujo en la sección aguas arriba del puente (m)

$B$ = Ancho de la superficie libre del flujo (m)

$K_1$ = Exponente para el modo de transporte del material del fondo (adimensional)

**Socavación en estribos** se da en la base de los estribos, originándose por el tiempo en determinar la máxima profundidad de socavación y el flujo del agua, dependiendo esencialmente del tipo de suelo. <sup>38</sup>

Los parámetros que perjudican la erosión en estribos son la forma y la longitud del estribo, la velocidad de la corriente, la profundidad del flujo, el ángulo de ataque del flujo, las características del material del lecho y la geometría del cauce.

Existen numerosas técnicas para implementar la erosión de los estribos, considerando que las fórmulas coetáneas tienen restricciones de tipo experimental, puesto que se fundamentan en datos realizados en laboratorios por ende es limitado el informe para su comparación.<sup>39</sup>

---

<sup>37</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 112)

<sup>38</sup> (VENEGAS Espinoza, 2011 pág. 15)

<sup>39</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 129)



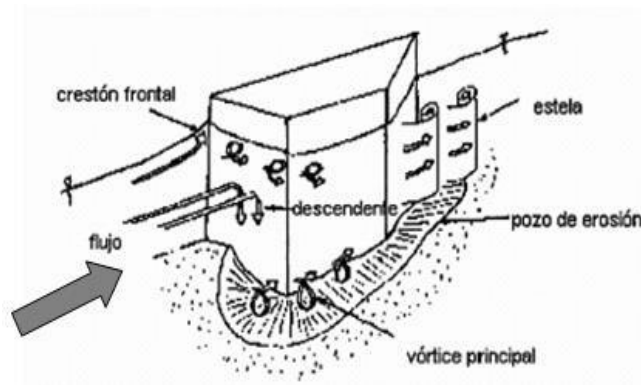


Figura 10. Sistema de vórtices durante la erosión en un estribo

Para hallar la **socavación local en estribos** se usan comúnmente cinco métodos para determinar valores promedios, empezaremos con el **Método de Froehlich** siendo este uno de los dos métodos más empleados en el modelo de programación Hec-Ras, también es uno de los más utilizados en los EE. UU; basándose en el estudio de regresión de valores de laboratorio evaluados en el lecho móvil.<sup>40</sup>

$$\Delta s = 2.27K_1 * K_2 * (L^i)^{0.43} * h^{0.57} * Fr^{0.61} + h$$

Dónde:

$\Delta s$  = Socavación (m)

$K_1$  = Factor de corrección por la forma del estribo

$K_2$  = Factor de corrección por el ángulo de ataque

$L^i$  = trayecto del estribo que obstruye al flujo (m)

$h$  = Fondo inicial aguas arriba del estribo (m)

$V$  = Velocidad media del flujo (m/s)

$Fr$  = N° de Froude, en la sección de aproximación

$$Fr = V / \sqrt{g * h}$$

<sup>40</sup> (VENEGAS Espinoza, 2011 pág. 16)

**Tabla 5.** Factor de corrección  $K_1$

FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA FORMA DEL ESTRIBO $K_1$	
Descripción	$K_1$
Estribos de paredes verticales	1.00
Estribos de paredes verticales con alerones	0.82
Estribos inclinados	0.55

Fuente: Reproducido de (Manual de Hidrología, 2012 pág. 149).

$$K_2 = (\theta/90)^{0.13}$$

Como podemos observar en la figura 11. El valor de  $K_2$  se puede obtener mediante un cuadro estadístico con relación el ángulo de inclinación.<sup>41</sup>

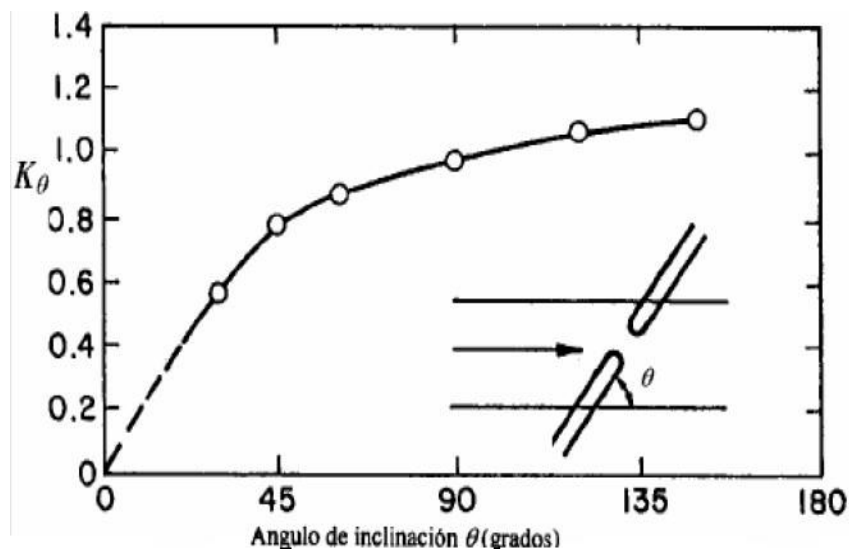


Figura 11. Factor de corrección  $K_2$

Así mismo se debe considerar dos premisas:

$\theta < 90^\circ$ , cuando el estribo está inclinado hacia aguas abajo

$\theta > 90^\circ$ , cuando el estribo está inclinado hacia aguas arriba

<sup>41</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 149)

**Método de Hire (1990)** este procedimiento es adaptable si y solo si el estribo atraviesa en la vía principal. La formula se emplea en la relación de la distancia calculada del estribo y la profundidad de flujo es superior a 25 ( $L'/h > 25$ )

$$\Delta s = 4h(K_1/0.55) * k_2 * Fr^{0.33}$$

Para obtener los valores de  $K_1$  y  $K_2$  se obtendrán de la Tabla 6 y la Figura 7 respectivamente.<sup>42</sup>

**Método de Artamonov (1956)** se formuló bajo un principio donde la profundidad de la socavación al pie de estribos es directamente proporcional a la profundidad media de la corriente evaluada antes del efecto erosivo aguas arriba del estribo; teniendo en cuenta que no se considera el tamaño del sedimento.

La ecuación de este método fue desarrollada considerando los siguientes factores: El talud de las caras de los estribos (mH: 1.0V), El ángulo formado por la dirección de la corriente y el eje longitudinal de la obra y por último en la relación entre el caudal teórico interceptado por el estribo ( $Q_1$  o  $Q_2$ ) y el caudal total ( $Q$ ).

$$Hs = K_\theta * K_q * K_m * h_1$$

**Tabla 6.** Coeficiente de corrección  $K_\theta$

COEFICIENTE DE CORRECCIÓN $K_\theta$					
$\theta$	20°	60°	90°	120°	150°
$K_\theta$	0.84	0.94	1.00	1.07	1.19

**Tabla 7.** Coeficiente de corrección  $K_q$

VALORES DEL COEFICIENTE CORRECTIVO $K_q$ EN FUNCION DE $Q_1/Q$								
$Q_1/Q$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
$k_q$	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

<sup>42</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 16)

<sup>43</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 17)

**Tabla 8. Coeficiente de corrección  $K_m$**

COEFICIENTE DE CORRECCIÓN $K_m$						
Talud MH:1V	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
$K_m$	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

Fuente: Reproducido de (Manual de Hidrología, 2012)

Si la obra de arte, es decir el puente, no está atravesado con relación al flujo ( $\theta=90^\circ$ ), y la pared de los estribos es vertical, por lo tanto, la ecuación general queda reducida:

$$H_s = K_q * h_1$$

Dónde:

$H_s$ = Fondo de socavación (m)

$h_1$ = Fondo inicial del flujo aguas arriba del estribo (m)

$K_q$  = Coeficiente que depende de la relación entre el caudal que intercepta el estribo  $Q_1$  o  $Q_2$  y el caudal de diseño  $Q$

$K_\theta$ = Coeficiente que depende del ángulo de incidencia

$K_m$ = Coeficiente que depende del talud del estribo

$Q_1, Q_2$ = Caudal teórico interceptado por los estribos

$Q$ = Caudal de diseño  $m^3/s$

$m$ = Talud

**Método de Liu, Chang y Skinner (1961)** basado en investigaciones elaborados en laboratorios, dándonos como resultados dos tipos de ecuaciones experimentales considerando el tipo de pared.<sup>44</sup>

Para el caso de socavación con transporte generalizado y pared inclinada hacia el cauce:

$$\begin{aligned} \text{Si: } 0 \leq \frac{L'}{h_1} \leq 25 & \quad \frac{\Delta s}{h_1} = 1.1 (L'/h_1)^{0.4} * F^{0.33} \\ \text{Si: } \frac{L'}{h_1} > 25 & \quad \frac{\Delta s}{h_1} = 4 * F^{0.33} \end{aligned}$$

Para estribos con transporte generalizado y pared vertical:

$$\frac{\Delta s}{h_1} = 2.15 (L'/h_1)^{0.4} * F^{0.33}$$

Dónde:

Hs=Fondo de socavación (m)

h1= profundidad inicial del flujo aguas arriba del estribo (m)

L' = Trayecto del estribo que obstruye al flujo (m)

F = número de Froude en la sección de aguas arriba

**Método de Laursen (1958)** Este modo se justifica en el argumento sobre el cambio en las relaciones de transporte debido a la celeridad del flujo causada por el estribo. Para este método tendremos en cuenta los siguientes criterios. <sup>44</sup>

Estribos proyectados dentro del cauce principal.

Estribos con pared vertical.

No existe flujo sobre las llanuras de inundación.

El largo del estribo es menor que 25 veces la profundidad media del agua ( $L/h < 25$ ).

Las ecuaciones dan como resultado el fondo de la socavación incluyendo los efectos por contracción

Se sugiere que las ecuaciones se apliquen para valores máximos de Hs/h igual a 4.0.

Las ecuaciones expuestas por Laursen se hallan por sondeos

La expresión debe ser ajustada por un factor de corrección K<sub>θ</sub> para considerar el efecto del ángulo de ataque.

$$\frac{L}{h_1} = 2.75 * \frac{Hs}{h_1} \left[ \left( \frac{Hs}{11.5h_1} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right]$$

Las dos ecuaciones precitadas son complacientes para estribos con pared vertical debido a que las profundidades de socavación resultantes son afectadas por un factor de corrección  $k_f$  para estimar la consecuencia de diversas formas.

$K_f = 0.9$ , en estribos con aleros inclinados  $45^\circ$

$K_f = 0.8$ , en estribos con pared inclinada hacia el cauce.

Dónde:

$H_s$ = Fondo de socavación (m)

$h_1$ = Profundidad promedio inicial del flujo aguas arriba en el cauce principal (m)

$L$  = Longitud del estribo

Los diversos tipos de fórmulas empíricas buscan determinar la profundidad de socavación de manera adecuada, sin embargo, se tiene que discurrir que los enunciados que representa cada uno de estos métodos, se componen como producto de exploraciones con respecto a modelos de laboratorio y, por ello, cada expresión tendrá limitaciones en su tratado, por lo que se tendrá que elegir el método más idóneo para el diseño. <sup>45</sup>

**Socavación en pilares** se considera como factores primordiales a el Ancho, longitud y forma del pilar Angulo de ataque, velocidad del flujo Profundidad del agua, Características del material del lecho como tamaño, cohesión, Material flotante, gradación del sedimento, estratificación del suelo Forma del lecho en cauces granulares y finalmente el Tiempo del proceso de socavación.

**Métodos para hallar la socavación local en pilares**, se tiene diversas técnicas para el cálculo de la socavación local evaluado a los pilares, sabiendo que hasta la fecha no se tiene una solución rigurosa ni exacta para dicho tratado, así mismo el

<sup>44</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 137)

<sup>45</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 págs. 103-108)

Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje nos exponen diversos métodos para su cálculo, y se debe considerar que para la utilidad de tales ecuaciones se debe adaptar de manera responsable prevaleciendo el criterio de ingeniería y juicio. <sup>47</sup>

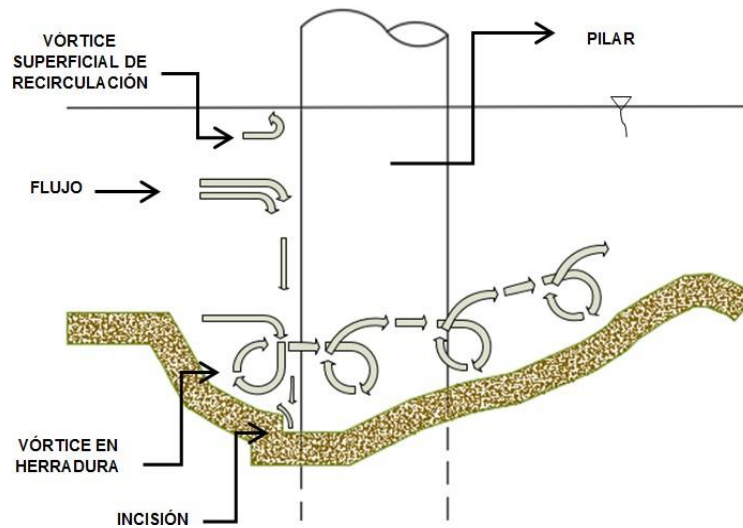


Figura 12. Proceso de erosión en el pilar

**Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)** aplicado para desarrollar la máxima profundidad de la socavación en pilas bajo condiciones de lecho móvil y agua clara, convirtiéndose esta ecuación en la óptima para el programa de Hec-Ras y siendo el más útil en los EE. UU. <sup>48</sup>

$$\Delta s = 2.0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * a^{0.65} * h_1^{0.35} * Fr_1^{0.43}$$

Dónde:

$\Delta s$  = Socavación (m)

$K_1$  = Factor de corrección por la forma de la nariz del pilar

$K_2$  = Factor de corrección por el ángulo de ataque del flujo

$K_3$  = Factor de corrección por la condición del lecho [adimensional]

$K_4$  = Factor de corrección por el acorazamiento del material del lecho

$a$  = Ancho del pilar en metros (m)

$h_1$  = Profundidad del flujo directamente aguas arriba del pilar en metros.

$Fr_1$  = Número de Froude directamente aguas arriba del pilar

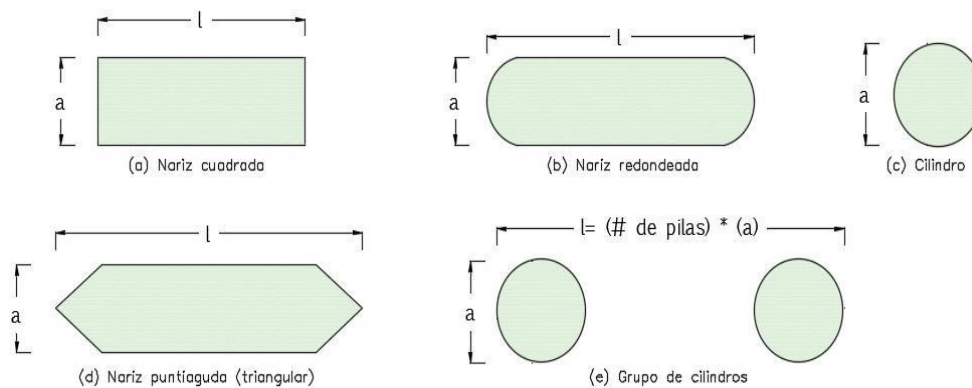
<sup>46</sup> (RIVAS paraguez, 2018 pág. 44)



**Tabla 9. Factor de Corrección K1– Método de CSU**

FORMA DE LA NARIZ DEL PILAR	K1
(a) Nariz cuadrada	1.10
(b) Nariz Redondeada	1.00
(c) Cilindro circular	1.00
(d) Nariz puntiaguda (triangular)	0.90
(e) Grupo de Cilindros	1.00

Fuente: (HEC-18, February 1993 pág. 44)



**Figura 13. Formas de pilares – Método de CSU**

El factor de corrección K2 se determina, por el ángulo de ataque del flujo y se expone mediante la siguiente ecuación. <sup>48</sup>

$$K_2 = (\cos \theta + L/a * \sin \theta)^{0.65}$$

Dónde:

$L$  = Longitud del pilar a lo largo de la línea de flujo (m)

$\theta$  = Ángulo de ataque del flujo, con respecto del pilar

El factor de corrección K3 concierne a las restricciones del lecho, aquella que está definido por la siguiente tabla:

<sup>47</sup> (RIVAS paraguez, 2018 pág. 64)



**Tabla 10.** Factor de corrección K3

INCREMENTO EN LA PROFUNDIDAD DE EROSIÓN DEL PILAR, K3, PARA LA CONDICIÓN DEL LECHO		
Condición del lecho	Altura de la duna en metros	K3
Erosión de Aguas Claras	N/A	1.1
Lecho Plano y Flujo Anti duna	N/A	1.1
Dunas Pequeñas	$0.6 > H \geq 3.0$	1.1
Dunas Medianas	$3.0 > H \geq 9.0$	1.1 a 1.2
Dunas Grandes	$H \geq 9.0$	1.3

Fuente: (Manual de Hidrología, 2012 pág. 137)

Por otro lado, el factor de corrección K4 se debe considerar que este factor disminuye las profundidades de socavación, a causa del acorazamiento del foso de erosión de los materiales del lecho para un  $D_{50} \geq$  que 2mm y un  $D_{95} \geq$  que 20 mm. También se determinó que cuando la velocidad promedio del cauce principal es menor que la velocidad crítica, se da una gradación en el material del lecho, por ende, el D90 restringirá la profundidad de socavación.<sup>49</sup>

**Tabla 11.** Factor de corrección K4

LÍMITES PARA TAMAÑOS DEL MATERIAL DEL LECHO Y VALORES DE K4		
Factor	Mínimo tamaño del material del lecho	Mínimo valor de K4
K4	$D_{50} \geq 2 \text{ mm} ; D_{95} \geq 20 \text{ mm}$	0.4

Fuente: Reproducido de (Manual de Hidrología, 2012 pág. 138)

**Método de Froehlich (1991)** es empleado para decidir la máxima profundidad de la socavación que fue desplegada por el Dr. David Froehlich y propone que no se adicione el ancho del pilar (a), en la ecuación salvo en un caso particular. Este caso es modelo en el Hec-Ras, aquella que siempre suma este factor de corrección en el cálculo de socavación en pilares.<sup>50</sup>

La siguiente ecuación está condicionada por un máximo:

<sup>48</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 137)

<sup>49</sup> (RIVAS paraguez, 2018 pág. 78)

$$\Delta s = \leq 2.4a \text{ Para } F_{r1} \leq 0.8$$

$$\Delta s = \leq 3.0a \text{ Para } F_{r1} > 0.8$$

$$\Delta s = 0.32\phi(\alpha')^{0.62} * h_1^{0.47} * F_{r1}^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a$$

Dónde:

$\Delta s$  = socavación [m]

$\phi$  = Factor de corrección por la forma de la nariz del pilar

$\phi$  = 1.3 para nariz del pilar cuadrada

$\phi$  = 1.0 para nariz del pilar redonda;

$\phi$  = 0.7 para nariz del pilar puntiaguda

$a$  = ancho del pilar (m)

$\alpha'$  = transcendencia del ancho del pilar respecto a la dirección del flujo (m)

$h_1$  = fondo inicial aguas arriba del pilar (m)

$Fr_1$  = N° de Froude directamente aguas arriba del pilar

$D_{50}$  = diámetro correspondiente al 50% en la curva granulométrica (m) <sup>50</sup>

**Método de Laursen y toch (1953, 1956)** para los suelos arenosos es el más complaciente, en el caso de gravas no está definido la aplicación. Laursen y Toch enuncian que la profundidad de la socavación necesita del tirante, ancho y forma del pilar.

Para dicho método se debe considerar que se trabajó para condiciones de flujo subcrítico y para números de Froude menores que 0.5; exceptuando la velocidad media de la corriente y el tamaño de los sedimentos. <sup>52</sup>

$$\Delta s = K_f * K_g * a$$

Dónde:

$\Delta s$  = socavación (m)

<sup>50</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 138)

<sup>51</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 105)



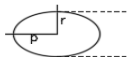

$H_s$ = profundidad de socavación (m)

$K_f$  = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila

$K_g$  = coeficiente que depende de la relación

$\alpha$ = ancho del pilar (m)

Para hallar los valores de factor de  $K_f$  se considerará la forma de la nariz quiere decir la forma del pilar.<sup>52</sup>

FORMA DE LA NARIZ		COEFICIENTE $K_f$ DE SCHNEIBLE
Rectangular $l/a = 4$		1.00
Rectangular		0.90
Elíptica $p/r = 2/1$ $p/r = 3/1$		0.81
		0.75
Lenticular $p/r = 2/1$ $p/r = 3/1$		0.81
		0.69

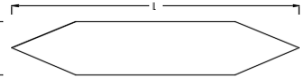

FORMA DE LA NARIZ O PILAR		SEGÚN TISON
Biselada $l/a = 4$		0.78
Perfil hidrodinámico $l/a = 4$		0.75

Figura 14. Factor de forma  $K_f$

Por último, el hallar el coeficiente  $K_g$  dependerá de correspondencia entre el fondo del agua posterior al evento de la socavación y la dimensión del pilar.

<sup>52</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 105)

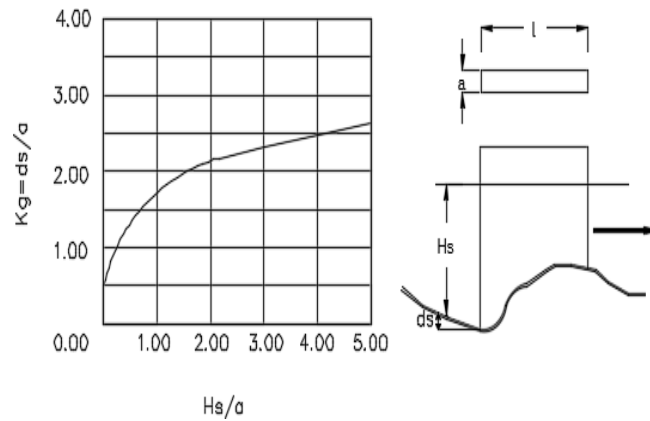


Figura 15. Coeficiente Kf Método de Laursen y Toch

**Método de Neil (1964)**, se dedujo este tratado con los datos tomados de los estudios de Laursen y Toch, obteniendo la siguiente fórmula. <sup>53</sup>

$$\Delta s = 1.5a^{0.7} * h_1^{0.3}$$

Dónde:

$\Delta s$  = socavación (m)

$a'$  = Proyección del ancho del pilar respecto a la dirección del flujo (m)

$h_1$  = Fondo inicial aguas arriba del pilar (m)

**Método de Larras (1963)** es la técnica usada para la Hipótesis de socavación en pilares el cual propone una expresión teórica y práctica, puesto que fue inferida mediante reglas reales de socavación asistidas en varios puentes de Francia, siendo calculadas después de una avenida. <sup>54</sup>

$$\Delta s = 1.05K_f * K_\theta * a^{0.75}$$

$a$  = Ancho del pilar

$K_f$  = Factor de corrección por la forma del pilar

$K_\theta$  = Factor de corrección por el ángulo de ataque de la corriente

<sup>53</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 100)

<sup>54</sup> (RIVAS paraguez, 2018 pág. 60)

**Tabla 12.** Factor de corrección de forma  $K_f$

EN PLANTA	LARGO / ANCHO DE LA PILA	K <sub>F</sub>				
		CHATOU	IOWA	TISON	ESCANDE	VEUKATADRI
Circular	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lenticular	2.00	0.73	0.97	0.67		
	3.00		0.76			
	4.00					
	7.00					
Perfil	4.00	0.86				
hidrodinámico	4.10		0.76			
Joukowski	4.50			0.76		
Elíptica	2.00		0.91			
	3.00		0.83			
Ojival	4.00	0.92		0.86		
Circular doble	4.00	0.95				
Oblonga	1.00	1.03	1.00	1.00		
	1.50		1.00			
	2.00		1.00			
	3.00		1.00			
	4.00					
Rectangular chaflanada	4.00		1.01			
Rectangular	0.25		1.30	1.40	1.25	
	4.00					
	4.50					
	5.30					
	9.30					
Nariz triangular a 60°						0.75
Nariz triangular a						1.25
Nariz parabólica						0.56

Fuente: (Manual de Hidrología, 2012 pág. 121)

**Tabla 13.** Factor de corrección por ángulo de ataque  $K_\theta$

FORMA DE LA PILA EN PLANTA	LARGO / ANCHO DE LA PILA	$K_\theta$					
		0°	10°	15° <sup>a</sup>	20°	30°	45°
Lenticular	1	1	1	1	1	1	1
	2	0.91				1.13	
	3	0.76	0.90	1.02	1.24		
	4	0.76		1.12		1.5	2.02
Perfil hidrodinámico	4	0.86		1.09		1.4	1.97
	4.5					1.36	
Elíptica	2	0.91				1.13	
	3	0.83	0.98	1.06	1.24		
Ojival	4	0.92		1.18			1.51
Oblonga	2	1				1.17	
	3	1	1.02	1.13	1.24		
	4	1		1.15		1.52	
	4.5					1.6	
Rectangular	2	1.11		1.38	1.56	1.65	
	4	1.11		1.72		2.17	2.43
	4.0 (x)	1.11		1.99		2.94	3.28
	4.5						2.09
	6	1.11		2.2		2.69	3.05
	8	1.11		2.23		3.03	3.64
	10	1.11		2.48		3.43	4.16

Fuente: (Manual de Hidrología, 2012 pág. 122)

**Método de Carsten (1966)**, este procedimiento evalúa la socavación local en pilas para factores de un lecho móvil, este método es de los escasos que considera el factor del tamaño del sedimento, pero no tiene en cuenta la profundidad de equilibrio y el ángulo de incidencia.<sup>55</sup>

$$\Delta s = 0.546a(N_s - 1.25|N_s - 5.02|)^{5/6}$$

$$N_s = \frac{V}{\sqrt{\Delta g D}} ; \Delta = \frac{P_s - P_w}{P_w} = \frac{Y_s - Y_w}{Y_w}$$

Dónde:

$N_s$ = Número del sedimento

$\Delta$ = Densidad relativa en relación con el peso específico del agua y sedimento

$D$ = Tamaño del sedimento (m)

<sup>55</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 29)

**Método de Maza-Sánchez (1968)** usado para el cálculo de socavación en pilares, a través de curvas elaboradas tomados del laboratorio, donde intervienen los factores de ancho del pilar, profundidad de flujo, numero de Froud y ángulo de ataque con razón a los pilares. Se debe Tener en cuenta que no es aprovechable para suelos granulares y no valora el efecto del tamaño del sedimento.<sup>57</sup>

Así mismo este método comprende de dos etapas, teniendo en primer lugar el determinar el número de Froud según la ecuación I-8 Y según eso se concertó el factor de corrección para pilas sesgadas.

Por ello si la pila está sesgada con respecto al flujo y  $Fr_2 < 0.06$ , se trabaja con  $f_c = 1.0$ ; y si la pila está sesgada con respecto al flujo y  $Fr_2 \geq 0.06$ , se utiliza de la siguiente tabla:

**Tabla 14.** Factor de corrección  $F_c$

FACTOR DE CORRECCIÓN $F_c$				
$\phi$	0°	15°	30°	45°
$f_c$	1	1.25	1.4	1.45

Fuente: (Manual de Hidrología, 2012 pág. 125)

En segundo lugar, se halló la relación  $h_1/a'$ , Donde  $a'$  es la perspectiva del ancho del pilar con respecto a la orientación del flujo.

Y finalmente para el cálculo de profundidad de socavación, se debe seleccionar el tipo de gráfico que corresponde a la forma de la pila que se está estudiando, para así asociar el  $Fr_2$  en el eje de las abscisas, luego insertar con la curva  $h_1/a'$  y leer en las ordenadas el valor  $h_s/a'$ , donde se obtiene el valor de  $\Delta s$ .

$$\Delta s = H_s - h_1$$

Dónde:

$H_s$  = Profundidad ulterior de la socavación también denominada (m)

$\Delta s$ = Fondo de socavación medida desde el lecho del cauce (m)

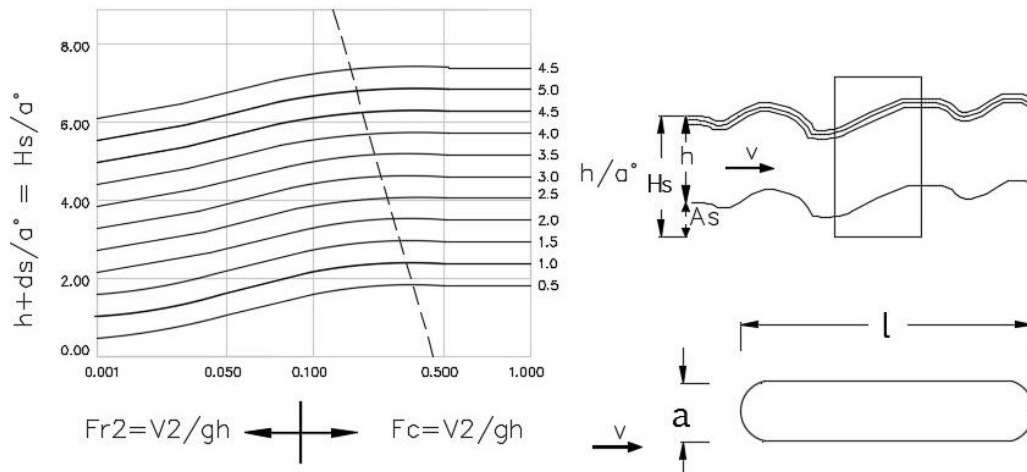


Figura 16. Grafica para Pila Elongada con Borde Circular

**Método de Breusers, Nicollet y shen (1977)** fue inicialmente planteado por Breusers en 1965 en la cual determina una ecuación sencilla en la que se deduce que la socavación en pilares necesita únicamente del ancho de la pila mediante la siguiente expresión <sup>58</sup>

$$\Delta s = 1.4 * a$$

En 1977, Nicollet y Shen se unen para un método extra en la que fijan la siguiente fórmula:

$$\Delta a = a * f_1(V/V_c) * f_2 * (h/a) * (forma) * f_3 * f_4(\phi_a^L)$$

Cálculo de  $f_1$ :

$$f_1\left(\frac{V}{V_c}\right) = 0 \quad ; \text{Para } \frac{V}{V_c} \leq 0.5$$

$$f_1\left(\frac{V}{V_c}\right) = 2\left(\frac{V}{V_c} - 0.5\right) \quad ; \text{Para } 0.5 \leq \frac{V}{V_c} \leq 1.0$$

$$f_1\left(\frac{V}{V_c}\right) = 1.0 \quad ; \text{Para } \frac{V}{V_c} \geq 1.0 \quad (\text{Condición Común})$$

$$V_c = 21 * (R/D_{50})^{1/6} * \sqrt{0.056 * \frac{Y_s - Y_w}{Y_w} * D}$$

Cálculo de  $f_2$ :

<sup>56</sup> (CHIRINOS Sota, 2017 pág. 31)



$$f_1\left(\frac{V}{V_c}\right) = 0 \quad ; \text{Para } \frac{V}{V_c} \leq 0.5$$

$$f_1\left(\frac{V}{V_c}\right) = 2\left(\frac{V}{V_c} - 0.5\right) \quad ; \text{Para } 0.5 \leq \frac{V}{V_c} \leq 1.0$$

$$f_1\left(\frac{V}{V_c}\right) = 1.0 \quad ; \text{Para } \frac{V}{V_c} \geq 1.0 \quad (\text{Condición Común})$$

$$V_c = 21 * (R/D_{50})^{1/6} * \sqrt{0.056 * \frac{Y_s - Y_w}{Y_w} * D}$$

Cálculo de  $f_3$ :

$f_3 = 1.00$  Para pilas circulares o con punta circular

$f_3 = 0.75$  para pilas de forma hidrodinámica

$f_3 = 1.30$  para pilas rectangulares

Cálculo de  $f_4$

Relacionar en la siguiente grafica el  $\phi$  con la relación  $l/a$  para el cálculo de factor de corrección  $K\phi$ .

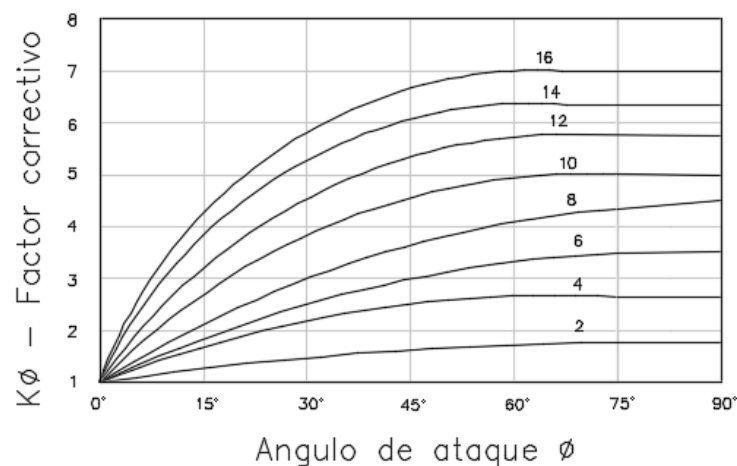


Figura 17. Factor de corrección  $K\phi$

Dónde:

$\Delta s$ = Socavación (m)

$\alpha$ = Ancho del pilar

$V$ = Velocidad media del flujo (m/s)

$V_c$  = velocidad crítica para inicio del movimiento de partículas de fondo (m/s)

$h$  = profundidad inicial del agua (m)

$\theta$  = ángulo de ataque ( $^\circ$ )

$l$  = longitud de la pila (m)

$R$  = radio hidráulico (m)

$D$  = diámetro de acorazamiento del cauce=D84 (m)

$\gamma_w$  = peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

$\gamma_s$  = peso específico del suelo (N/m<sup>3</sup>)

Diversos métodos han sido propuestos para determinar la socavación en pilares, según el tipo de suelo, dada la medida, respecto con el flujo del agua, y otras.<sup>57</sup>

Los métodos de socavación son esenciales en el análisis de todo un diseño a considerar al momento de plantear la construcción de una estructura; sin embargo, debes tomar en cuenta algunos aspectos como el **Análisis de estabilidad**, también conocido “El daño por estabilidad es primordialmente debido a la falla de la cimentación ocasionada por una alteración del suelo, estas fallas suelen ser la inclinación del estribo producto de asentamientos, deslizamiento, y volteos.”<sup>60</sup>

**El Deslizamiento**, indican que para zapatas en suelos granulares, la resistencia al deslizamiento obedece a la rugosidad de la interface entre el suelo y la cimentación. La falla por deslizamiento se da si los efectos de la fuerza a causa de los componentes horizontales de la carga superan la crítica de la resistencia. Para calcular el deslizamiento en estribos y en pilares, se formula el método de AASHTO, especificando los daños en la superestructura requerido a las cargas afectantes y a la socavación producida.<sup>61</sup>

$$F_{SD} = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}} \geq 1.5$$

---

<sup>57</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2012 pág. 133)

<sup>58</sup> (GARCIA rossel, 2006 pág. 126)

<sup>59</sup> (ALVARADO Calderon, 2015 pág. 18)

**El Giro y/o vuelco** indican que los estribos y muros de sostenimiento tienen que ser dimensionados para permitir la estabilidad ante la falla por capacidad de deslizamiento, soporte, volteo o excentricidad. Para dar un juicio de la falla de estabilidad de las superestructuras tenemos que hallar, la profundidad de la socavación para intuir el colapso del puente.<sup>62</sup>

$$F_{sv} = \frac{M. \text{ estabilidad}}{M. \text{ desestabilizadoras}} \geq 1.5$$

**La Capacidad del terreno y/o presión del terreno** consiste en dos clases de suelos desde la percepción de fundación: en primera instancia los no socavables que son las piedras en general, estando formadas por la mezcla de caliza y arcilla y en segundo lugar los socavables que son la grava, arena, la arcilla y la greda. El suelo mitiga bajo la presión de una carga coaccionado a sus corpúsculos a que cambien sus distancias y posturas, alcanzando una deformación, la cual será mínima siempre y cuando sea máxima la unión de los cuerpos para que sostengan su estructura.<sup>63</sup>(Rivera, 2014)

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$$

**Hec-Ras** (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System). El software está en continuo desarrollo siempre buscando estar a la vanguardia. Siendo este un esquema para el estudio de sistemas fluviales, este programa efectúa cálculos hidráulicos de cursos artificiales o naturales obedeciendo el tipo de análisis y de las restricciones que se aspira idear para un flujo permanente o no permanente, aludiendo que flujo permanente se entiende que el flujo es constante con el tiempo y el flujo no permanente es donde acontecen cambios en el caudal de entrada y de salida.

El software cuenta además con los procedimientos de cálculo para simular los efectos hidráulicos debido a estructuras hidráulicas, sin embargo, debemos tener en cuenta que una solución calculada en el Hec-Ras no es la única solución real, por lo tanto, solo nos muestra un posible resultado. El sistema nos esclarece una forma de resultados ya sea en forma gráfica o en forma de tablas.

---

<sup>60</sup> (GARCIA rossel, 2006 pág. 130)

<sup>61</sup> (RIVERA macarena, 2014 pág. 12)

Un **Puente** viene a ser una obra de arte especial requerida para atravesar a desnivel un accidente geográfico u obstáculo artificial por el cual no es posible el tránsito en la dirección de su eje, existiendo diversos tipos, siendo los más comunes y utilizados según la demanda, puente arco, puente viga, puente pórtico, puente colgante, puente atirantado.<sup>62</sup>

El vocablo Puente se puede precisar de diversas maneras, un puente es una obra de arte para redimir un camino bloqueado dando así pase a una vía, para ello no debe tener una abertura inferior a 6100 mm y que este ubicada dentro de una carretera ya sea sobre o debajo de una carretera”.<sup>63</sup>

Es crucial considerar que si un puente no será estable si el tramo fluvial no lo es, teniendo en cuenta que el río es por naturaleza principalmente móvil y cambiante por lo que el análisis de un puente que interactúa con un río no puede independizarse del adecuado estudio de hidráulica Fluvial.

A continuación, mencionaremos los principales componentes de la estructura de un puente: Subestructura y Superestructura.

**La Superestructura** está conformado por aquellos elementos estructurales de la obra de arte que forman parte del tramo horizontal.<sup>64</sup>

Los elementos estructurales en mención son:

**El Tablero** es una superficie con o sin rodamiento, que sostiene las cargas de rueda de manera directa; este elemento es soportado por otros elementos estructurales.

**La Estructura Portante**, este elemento estructural tolera el peso de los tableros y se sostiene en sus apoyos de la estructura inferior, por ende, transfiere las cargas originarias del tablero hacia los estribos y pilares.

Por último, tenemos a los accesorios del tablero estos elementos trabajan para asegurar la correcta función del puente brindando seguridad tanto a los transeúntes, para ello se usa barandas, barreras y Cordón barrera.

---

<sup>62</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2016 pág. 7)

<sup>63</sup> (RODRIGUEZ serquen, 2012 pág. 11)

<sup>64</sup> (AVALOS Castro ; ZEGARRA tordoya, 2018 pág. 23)

La Subestructura del puente son aquellos que toleran el tramo horizontal, siendo los elementos más importantes los Pilares, Estribos y Fundaciones.<sup>67</sup>

Los Pilares cumplen la función de apoyo intermedios los cuales transportan los esfuerzos de la superestructura hacia las fundaciones, siendo proyectado para tolerar cargas de viento, cargas de impacto, presiones hidráulicas, etc. Siendo estos más vulnerables a los efectos de la socavación dado que las fundaciones tienen que estar por debajo de la altura máxima de socavación. Las estructuras tienen que ser de concreto o acero, Sin embargo, en puentes de acero los pilares de concreto son a menudo protegidos, se dan en algunos casos que los pilares muy altos se elaboran con segmentos de concreto prefabricado. Los pilares se clasifican según la sección transversal esta puede ser constante o variable, todo en función de la altura del pilar, así mismo pueden tener una sección llena o una sección hueca la selección de los pilares se basará en la estética ya construcción; clasificando a los pilares en Semicirculares, Circulares, Rectangulares y Biselada.

Los Estribos suministran soporte a la superestructura, siendo los encargados en establecer la conexión entre el terraplén y la superestructura, son proyectadas para resistir la carga de la superestructura que es transferida por medio de los elementos de apoyo, el peso de la losa de transición y las presiones del suelo (empuje de tierras). Las losas de fundación forman los estribos, transmitiendo el peso de los estribos proporcionalmente al suelo, la losa también es una protección para un sistema de pilotes que toleran la carga, asiento del puente, el muro frontal, muro de retención encima del asiento del puente, losa de aproximación; cabe resaltar que los estribos tienen juntas de dilatación o expansión que se adaptan a los desplazamientos de la superestructura.

Por último, **las Fundaciones** se dan bajo el terreno de la superficie, donde se encargan de transferir toda la capacidad con respecto al suelo, al impregnar dicha carga el suelo se contrae provocando a los asentamientos. Hay dos condiciones que deben darse para el diseño de fundaciones: “que el asentamiento total de la estructura este restringido a una proporción admisiblemente pequeña y que en lo

---

<sup>65</sup> (AVALOS Castro ; ZEGARRA tordoya, 2018 pág. 24)

contingente el asentamiento diferencial de las diversas partes de la estructura se expelen".<sup>66</sup>

**Las consideraciones para el diseño de un puente** se basan en los estudios de hidráulica fluvial de puentes respecto a cauces naturales. Teniendo en cuenta que, se explicara en forma general las técnicas más adecuadas para el diseño hidráulico y la indagación básica para tener los parámetros hidráulicos adecuados. El correcto funcionamiento hidráulico de un puente no sólo obedece a un análisis adecuado y del uso óptimo de las ecuaciones matemáticas correspondientes; si no también de un entendimiento completo de los factores hidráulicos locales en la cual se basa su diseño.<sup>67</sup>

A continuación, se explicará las consideraciones generales que debe emplearse en el desarrollo de las investigaciones de hidráulica fluvial de puentes.

La Topografía, debe englobar el tramo involucrado, la estructura existente y los niveles de agua actuales. Indican que un levantamiento topográfico debe abarcar lo siguiente:<sup>68</sup>

- En ríos con extensas llanuras de inundación en el cual el puente produce contracción del flujo de avenida el levantamiento comprenderá 12 veces el ancho del cauce principal aguas arriba con respecto al eje propuesto y 6 veces hacia aguas abajo.
- Los ríos donde el puente no ocasiona contracción del flujo de avenida y brinde una pendiente ocasionada del levantamiento topográfico incluirá 8 veces el ancho del cauce principal aguas arriba del eje planteado y 4 veces hacia aguas abajo. El levantamiento topográfico no puede ser menor a 150 m aguas arriba y 150 m aguas abajo del eje del puente estudiado.
- por otro lado, si el eje del puente estudiado se localice cerca de la desembocadura con un río principal, lago o mar el levantamiento topográfico deberá comprometer el área de confluencia. No obstante, la demanda mínima para el levantamiento

---

<sup>66</sup> (NILSON mcgraw, 2000 pág. 51)

<sup>67</sup> (GOMEZ cunya, 2012 pág. 65)

<sup>68</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2016 pág. 26)

topográfico puede prolongarse o restringirse, sin deteriorar los objetivos del propósito.

- Así mismo, el levantamiento topográfico, debe comprender la estructura existente, marcas de agua en la estructura existente, niveles de agua actuales, toma del perfil longitudinal del curso natural, secciones transversales del curso natural espaciados no mayor a 0.5 veces con respecto al ancho del cauce principal del curso natural, teniendo otras singularidades de importancia para el análisis hidráulico donde se proyectará la obra de arte.

**La ubicación del puente** debe ser la más impecable, desde el punto de vista geotécnico, hidráulico, y de diseño Vial. Dicho esto, la localización de un puente a edificar debe ser tal, que el curso natural no perjudique su estabilidad y a su vez el puente no origine cambios morfológicos en el curso natural". <sup>69</sup>

Los factores que deben considerarse para la relación a la ubicación de puentes son los siguientes: Estabilidad fluvial del tramo fluvial comprometido, Forma de las cuencas tributarias, Características topográficas de los terrenos y forma de los cauces, cobertura vegetal existente, Grado de sinuosidad de los cauces existentes y presencia de lecho abandonados y Características singulares o geológicas, tales como existencia de gravas, arenas, afloramientos rocosos.<sup>70</sup>

---

<sup>69</sup> (RUIZ, y otros, 2016 pág. 33)

<sup>70</sup> (MINISTERIO de transportes y comunicaciones, 2016 pág. 45)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue Aplicada.

El autor nos dice:

La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

<sup>71</sup>

En esta investigación tuvo como objetivo la resolución del problema planteado, enfocándose en la búsqueda y afianzamiento del conocimiento para su aplicación, y con ello el desarrollo cultural y científico

##### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación fue No-Experimental

El autor nos dice:

Aquellos cuyas variables independientes carecen de manipulación intencional, y no poseen grupo de control, ni mucho menos experimental. Analizan y estudian los hechos y fenómenos de la realidad después de su ocurrencia. Los diseños no experimentales presentan dos formas generales: los diseños Transeccionales o Transversales que a su vez se subdividen en Diseños Transeccionales Descriptivos, Diseños Transaccionales Explicativos-Causales y Diseños Transeccionales correlacionales; y los Diseños Longitudinales que a su vez se subdividen en diseños longitudinales de tendencia o trend, Diseños Longitudinales de Evolución de grupos o Cohort y los Diseños Longitudinales de Panel. <sup>72</sup>

En esta investigación no se manipuló las variables, y se recolectaron los datos directamente de campo en un tiempo único y en su estado natural, debido a esto, fue un diseño transversal.

---

<sup>71</sup> (MURILLO Willian, 2008 pág. 71)

<sup>72</sup> (CARRASCO Sergio, 2006 pág. 71)



### **Nivel de investigación**

El nivel de investigación fue explicativo, porque las variables fueron usadas para determinar la influencia de la socavación en la optimización del diseño de puentes.

El autor nos mencionó: <sup>73</sup>

Los estudios explicativos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, es decir, miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. En un estudio explicativo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investiga. <sup>73</sup>

Por ello, la investigación fue de nivel explicativo, ya que se analizó mediante la recolección de datos el porqué de la influencia de la socavación en la optimización del diseño de puentes

### **Enfoque de investigación**

El enfoque de investigación fue cuantitativo

El autor nos mencionó:

“Las conjeturas ya establecidas serán analizadas a partir de las distintas Hipótesis manifestadas de la misma, tornándose obligatorio adquirir una muestra, puede ser de manera fortuito o diferenciada, no obstante, representa el universo del objeto a investigar”. <sup>74</sup>

Por esta razón, para efectuar investigaciones cuantitativas es necesario contar con una teoría ya elaborada, es decir, nuestro propósito fue lograr demostrar resultados contables a nuestro favor.

## **3.2. Variables y operacionalización**

### **Variables**

“La variable es aquel que se puede verificar, estudiar y medir en una indagación, nos va a ayudar a calificar y conceptualizar; asumiendo valores diferentes, siendo

---

<sup>73</sup> (SAMPIERI, 2006 pág. 102)

<sup>74</sup> (TAMAYO Mario, 2007 pág. 2)

estos cualitativos o cuantitativos. Además, pueden ser definidas operacional y conceptualmente.”<sup>75</sup>

Variable 1: Socavación total = Variable Independiente.

Variable 2: Diseño del puente solidaridad = Variable Dependiente.

## **Escala**

El autor explico que:

El peso, la longitud y la masa se miden en una escala de razones. Las distancias expresadas en kilómetros, millas o pies son ejemplos de mediciones en una escala de razones, ya que en todos estos casos las escalas tienen un origen común.<sup>76</sup>

Por lo anterior señalado la escala de esta investigación fue de razón, debido a que nuestros indicadores se miden en unidades cuantificables.

### **3.3. Población y Muestra**

#### **Población**

Para este concepto el autor indicó que población representa el grupo de sujetos u objetos de los cuales se busca conocer algo en la investigación. “La población puede estar formada por animales, personas, muestras de laboratorio y todo aquel elemento que pueda ser medido”.<sup>77</sup>

Para esta investigación la población fue conformada por los puentes que interactúan con ríos en el distrito de la libertad

#### **Muestra**

Los autores señalaron que:

El muestreo es la herramienta donde se selecciona una muestra específica de la población que se desea investigar, el muestreo constituye la técnica para poder saber algunas características de la población, usando como fuente a la muestra.<sup>78</sup>

Ante lo expuesto por los dos autores se tomó la medida de utilizar como muestra el Puente Libertad y el Puente Moche.

#### **Muestreo**

---

<sup>75</sup> (NUÑEZ Flores, 2007 pág. 167)

<sup>76</sup> (CORPORACIÓN Universitaria Unitec, 2015)

<sup>77</sup> (PINEDA y otros, 1994 pág. 108)

<sup>78</sup> (ZORRILLA Arena y Torres Xammar, 2001 págs. 76-77)

El autor nos manifestó que “En este tipo de muestreo, denominado también muestreo de modelos, las muestras no son representativas por el tipo de selección, son informales o arbitrarias y se basan en supuestos generales sobre la distribución de las variables en la población”. <sup>79</sup>

El autor nos indicó que “El muestreo Intencional u opinático, es aquel donde los elementos muestrales son escogidos en base a criterios o juicios preestablecidos por el investigador”. <sup>80</sup>

Ante lo indicado por el autor, para esta investigación no experimental, es factible e idóneo tomar muestras en función de criterio personal e intencional del investigador. Basado en esto, el tipo de Muestreo fue No Probabilístico – Muestreo Intencional.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnica**

El autor explicó que:

A los principios y procedimientos para recopilación de la información como los hechos que proporciona tener información al investigador. También señala que para recolectar información se usan fuentes primarias y secundarias, esta es la técnica esencial dentro del marco de investigar. <sup>81</sup>

Por lo anteriormente señalado, nuestra técnica fue el análisis documental, con la cual podemos inspeccionar, detallar y explicar sucesos o fenómenos que delimitan el problema del proyecto, así como fue el caso de las pruebas de laboratorio, es fiel fuente de los técnicos que desean hallar, analizar al elemento; en nuestro caso la socavación.

#### **Observación directa**

El autor indicó que “El encargado de la investigación hará las observaciones necesarias y las analizará directamente los resultados de los estudios geotécnicos para hacer más sólida la información de la problemática”. <sup>82</sup>

El observador debe anotar en cuaderno de campo, registros u otros que permitan hacer el análisis de la investigación.

---

<sup>79</sup> (PIMIENTA Lastra, 2000 pág. 265)

<sup>80</sup> (ARIAS Fidias, 2006 pág. 81)

<sup>81</sup> (MENDEZ Alvarez, 1999 pág. 143)

<sup>82</sup> (CAMACHO Hermelinda, 2008 pág. 12)

## **Instrumento**

El autor sostuvo al respecto que:

El instrumento sirve básicamente para juntar, recoger la información real del suelo como es para este caso de estudio y en base esto determinar la problemática y ser causal de estudio, pero el instrumento sirve para obtener la situación real del lugar de estudio según sea lo que se busque estudiar.<sup>83</sup>

Para esta investigación se requirió usar algunos instrumentos que fueron necesarios para obtener las características reales de los suelos, como la clasificación de suelos, límites de consistencia, entre otros. Para el desarrollo de este proyecto se utilizará la ficha de recopilación de datos.

## **Confiabilidad**

Nivel en donde el instrumento elabora resultados coherentes. Al igual que su empleo reiterado al análogo objeto o sujeto obtiene efectos iguales.<sup>84</sup>

Ante lo expuesto por el autor, el grado de confiabilidad es aquel que nos permitirá medir la validez; para este proyecto se trabajará con respecto a la calibración de los equipos de laboratorio que se usarán para el desarrollo del proyecto; avalando los resultados de manera óptima y eficaz.

## **Validez**

El uso de los instrumentos empleados para la medición debe ser los apropiados, con facilidad y eficiencia, estos nos deben dar la seguridad que nuestros resultados sean transparentes.

De igual manera el autor afirmó, siendo esencial que los instrumentos elegidos cumplan tres peculiaridades: Validez, el nivel en que la prueba mide lo que en realidad se quiere medir; Confiabilidad: la precisión de los recursos de medición; y la Factibilidad, se describe a los agentes que disponen la eventualidad de elaboración.<sup>85</sup>

---

<sup>83</sup> (SABINO Carlos, 1992 pág. 149)

<sup>84</sup> (KERLINGER Fred, 2002 pág. 2)

<sup>85</sup> (NAMAKFOROOSH Naghi, 2002 pág. 4)

Por esta razón en este trabajo de investigación la validez fue respaldada por la firma de los especialistas (Ingenieros Civil y técnicos de laboratorio), quienes dieron la veracidad de los resultados obtenidos.

### 3.5. Procedimiento

Para determinar la constitución del lecho del río Rímac se analizó en el laboratorio las muestras extraídas de las calicatas, sometiéndolas a un análisis mecánico mediante el uso de tamices de abertura y numeración, horno de secado de temperatura regulable, balanzas electrónicas de precisión, bandejas metálicas y recipientes, bajo los parámetros de la Norma N.T.P. 399.128: ASTM D-422 para análisis granulométrico. Los estudios de Socavación en general requieren necesariamente conocer la constitución de suelo del lecho, donde se asienta la fundación de estribos y pilares de un puente.

Para poder realizar la modelación del caudal resultante en el río Rímac, producto del fenómeno El Niño se procesó en el programa HEC-RAS v5.0.3 los datos obtenidos de la geometría del terreno, junto con los caudales y el tipo de suelo. El HEC-RAS v5.0.3 es un programa que está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales para una red completa de canales naturales y construidos, fue diseñado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) (CEIWR-HEC), cuyo uso es muy común en América y España como una herramienta complementaria en la ingeniería Hidráulica.

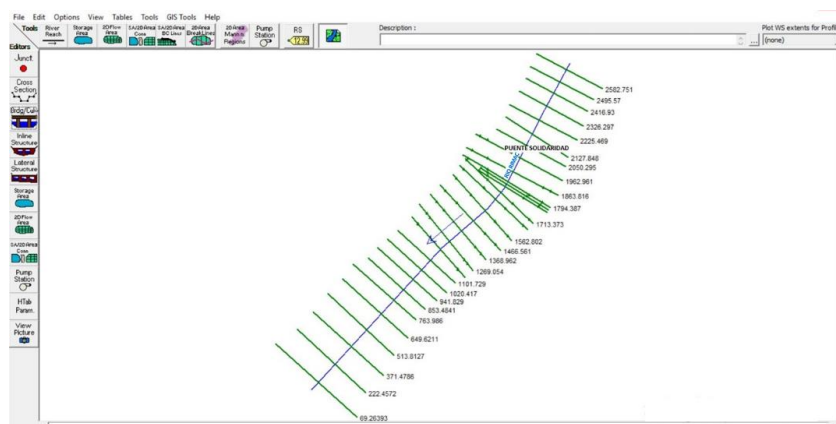


Figura 18. Sección en Hec-Ras

Para elaborar los cálculos de la socavación en pilares y estribos del puente Solidaridad, se procesó la información obtenida del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER), junto con los datos obtenidos del cálculo del caudal máximo de la cuenca tributaria y los resultados del estudio geológico realizado mediante las dos calicatas en el lecho del río. La validez de los datos procesados se justifica por ser datos oficiales obtenidos de organismos del estado como el COER, ANA y SENAMHI.

Para el cálculo de nivel de socavación general en el cauce del río se utilizó el método de Lischtván- Levediev, para el cálculo de socavación local en estribos y pilares se utilizaron los métodos de ARTAMONO y NEILL respectivamente.

### **3.6. Método de análisis de datos**

En base al tipo de investigación se analizó el contenido, en el cual “pretende acercarse a la indagación de los juicios en lugar de términos”.<sup>86</sup>

Para ello fue imprescindible utilizar a cabo un medio de: modificar, organizar, tratar y analizar la información adquirida mientras la recopilación de referencias. El análisis de materia fue un método que posibilitó la explicación sistemática, cuantitativa y neutra de la capacidad por lo cual se desea conseguir una descripción competente de la averiguación del proyecto.

### **3.7. Aspectos éticos**

En este proceso del proyecto, se tuvo los fundamentos éticos bien establecidos, tanto a nivel social, académico e ímpetu investigador.

Empezaremos por el **aspecto social**, se tuvo que respetar y llegar a buenos acuerdos con los residentes de la “Cooperativa de Vivienda Talavera la Reyna” del el Agustino y la “Urbanización Zárate Este” de San Juan de Lurigancho, dado que el análisis e inspección visual fue en ese distrito. Para ello se habló con los dirigentes, municipalidad para lograr llegar acuerdos que beneficiaron ambas partes; los pobladores obtuvieron conocimiento e información de porque ocurrió el

---

<sup>86</sup> (ANDER Ezequiel, 1979 pág. 506)

colapso del puente; a solo siete años de su construcción, y también se les mostró soluciones ante esta problemática tan inusual. Así mismo, nosotros desarrollamos capacidades como investigadores, profesionales, que haciendo el uso de nuestros conocimientos fuimos capaces de brindar mejora en nuestra sociedad.

En el **aspecto académico** se podrá desarrollar el ímpetu investigador usando todas las herramientas aprendidas y adquiridas en nuestra prestigiosa universidad para lograr concretar la materialización de toda nuestra información adquirida; así mismo las fuentes que usaremos estarán debidamente citadas para no quitar autenticidad ni crédito a los autores que usaremos como referencia.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Descripción de la zona de estudio

“Evaluación de la socavación total para la optimización de diseño del Puente Solidaridad en el distrito San Juan de Lurigancho, 2017”

#### Acceso a la zona de trabajo:

El ingreso a la obra de arte es a la altura de la cuadra 17 de la av. Malecón Checa; limitando con los distritos de San Juan de Lurigancho y el Agustino con respecto al río Rímac.

#### Ubicación Política

La zona de estudio está ubicada en la región de Lima, Provincia de Lima, distrito de San Juan de Lurigancho.



Figura 19. Mapa político de la provincia de Lima



Figura 20. Mapa político del Perú



## Ubicación del proyecto

### Provincia y departamento de Lima



Figura 21. Ubicación de la provincia de Lima

### Distrito de San Juan de Lurigancho



Figura 22. Ubicación del distrito de San Juan de Lurigancho

**Norte:** Anexo 22 de Jicamarca

**Sur:** El agustino y Cercado de Lima

**Este:** Chosica

**Oeste:** Rímac, Independencia y Comas

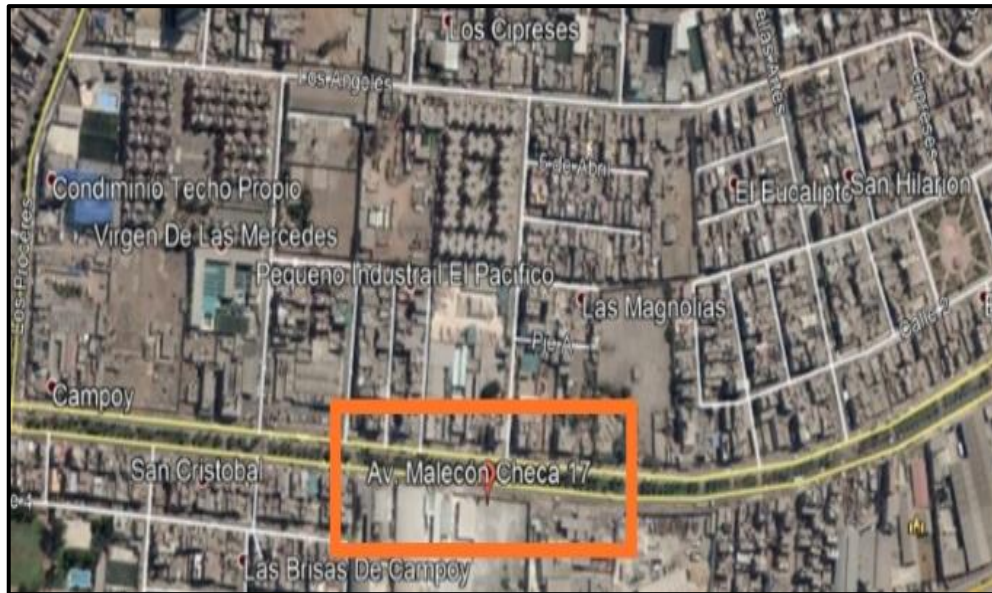
San Juan de Lurigancho, esta zona de estudio se eligió tras las diversas problemáticas suscitadas ante del colapso de la obra de arte, que fue ocasionado tras la crecida del río Rímac; donde el puente era el único medio de comunicación y transitabilidad de los vecinos entre las comunidades de San Juan de Lurigancho a el Agustino, siendo un factor clave la socavación que se originó ante los agentes geográficos e hidrológicos suscitados en la región; que se consideró en la investigación y análisis del proyecto de investigación a realizar.

### **Ubicación Geográfica**

Geográficamente la zona de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas 12°1'28.71"S y 76°58'17.40"O.

Las muestras tomadas de suelo para los ensayos de granulometría, se recolectó en el distrito de San Juan de Lurigancho, por donde pasa el cauce del río Huaycoloro; quien nace en el Rímac.

La ubicación exacta del lugar de recolección de muestra es en las faldas del río Huaycoloro; cuadra 17 de Malecón Checa donde estaba ubicado el puente Solidaridad, como se puede ver en la figura 18. Captada por Google Maps. Cabe indicar que para obtener dichas muestras previamente se conversó con los vecinos de las comunidades del Vicentelo Bajo-Bethania-Zárate del distrito del Agustino y San Juan de Lurigancho, para contar con su autorización y poder realizar trabajos de excavación y extracción del suelo a evaluar.



*Figura 23. Ubicación de la Zona- Google earth*

### **Vías de acceso**

El ingreso a la obra de arte es a la altura de la cuadra 17 de la av. Malecón Checa; limitando con los distritos de San Juan de Lurigancho y el Agustino con respecto al río Rímac.

### **Clima**

En el distrito de san juan de Lurigancho se presentan dos tipos de clima, siendo estos el clima árido (clima seco que presenta bajas precipitaciones) y clima de tundra. Teniendo como un valor promedio de 9,1; esto debido a los diversos factores como las posibilidades de precipitación, temperaturas medias y experiencias climáticas típicas o atípicas suscitadas. San juan de Lurigancho muestra su clima según los sectores dados en zarate es húmedo y seco en la quebrada de media luna y canto grande; cómo se puede ver el clima de zarate es similar al de lima centro en el aspecto de la humedad, cabe indicar que en canto grande se atenúa el clima más seco y esto conlleva a que personas con enfermedades respiratorias encuentren un mejor estilo de vida en esta zona; puesto que cuentan con la presencia del sol todo el año. La temperatura promedio máxima en San Juan de Lurigancho es de 26° C en febrero y 21° C en julio; cómo se puede ver el clima de este distrito es ideal para tomar vacaciones con la presencia del sol.

## 4.2 Trabajo de Laboratorio

Este trabajo de investigación se basó en los resultados obtenidos de 2 tesis aprobadas.

Tesis 1: “Evaluación de la Socavación producida en pilares y estribos del puente Libertad causado por el fenómeno del Niño. Distrito de Guadalupe, La libertad”

Tesis 2: “Evaluación de la Socavación que producida en pilares y estribos del puente Moche, la derivación del caudal” de la quebrada San Idelfonso”

### 4.2.1 Análisis Granulométrico

#### Puente Libertad

**Tabla 15. Análisis granulométrico**

Calicata		C - 1	C - 1	C - 1	C - 2	C - 2	C - 2
Muestra		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	M - 6
Profundidad (m)		0.30	1.20	2.30	0.30	1.20	2.30
<b>Análisis Granulométrico por Tamizado - NTP 399.128: ASTM D 422</b>							
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa					
3"	76.200	91.42	69.27	86.24	100.00	81.49	100.00
2 1/2"	63.500	85.90	43.09	73.26	90.68	65.06	92.04
2"	50.800	80.60	23.61	61.58	83.68	49.38	84.19
1 1/2"	38.100	75.20	17.67	50.95	77.59	39.01	77.45
1"	25.400	69.92	13.19	41.13	71.37	33.70	71.21
3/4"	19.050	64.69	10.45	32.78	65.62	29.18	65.67
1/2"	12.700	59.53	8.59	26.75	60.72	25.15	60.29
3/8"	9.525	54.43	6.99	21.65	55.01	21.53	55.17
1/4"	6.350	49.38	5.75	16.98	49.76	18.33	50.19
N° 4	4.760	44.40	4.89	12.92	44.62	15.73	45.43
N° 6	3.360	39.47	4.22	10.10	39.90	13.27	40.72
N° 8	2.380	34.61	3.71	8.00	35.16	10.88	36.35
N° 10	2.000	29.80	3.42	5.99	30.25	8.81	32.01
N° 16	1.190	25.06	3.21	4.16	25.92	7.00	27.82
N° 20	0.840	20.37	2.99	3.00	21.76	5.24	23.74
N° 30	0.590	15.75	1.92	2.06	17.75	3.78	20.03
N° 40	0.426	11.18	1.30	1.43	13.91	2.49	16.58
N° 50	0.297	8.09	0.83	0.97	10.23	1.44	13.21
N° 80	0.177	5.22	0.51	0.58	6.71	0.80	8.85
N° 100	0.149	2.57	0.28	0.34	3.35	0.36	4.53
N° 200	0.074	0.13	0.10	0.13	0.15	0.12	0.16
<b>Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)</b>							
Clasificación		GP con arena	GP con arena	GP con arena	GP con arena	GP con arena	SP con grava
diámetro medio (mm)		19.40	54.42	34.76	16.70	40.08	16.46

Fuente: (Guillen, 2019, p. 62-74)

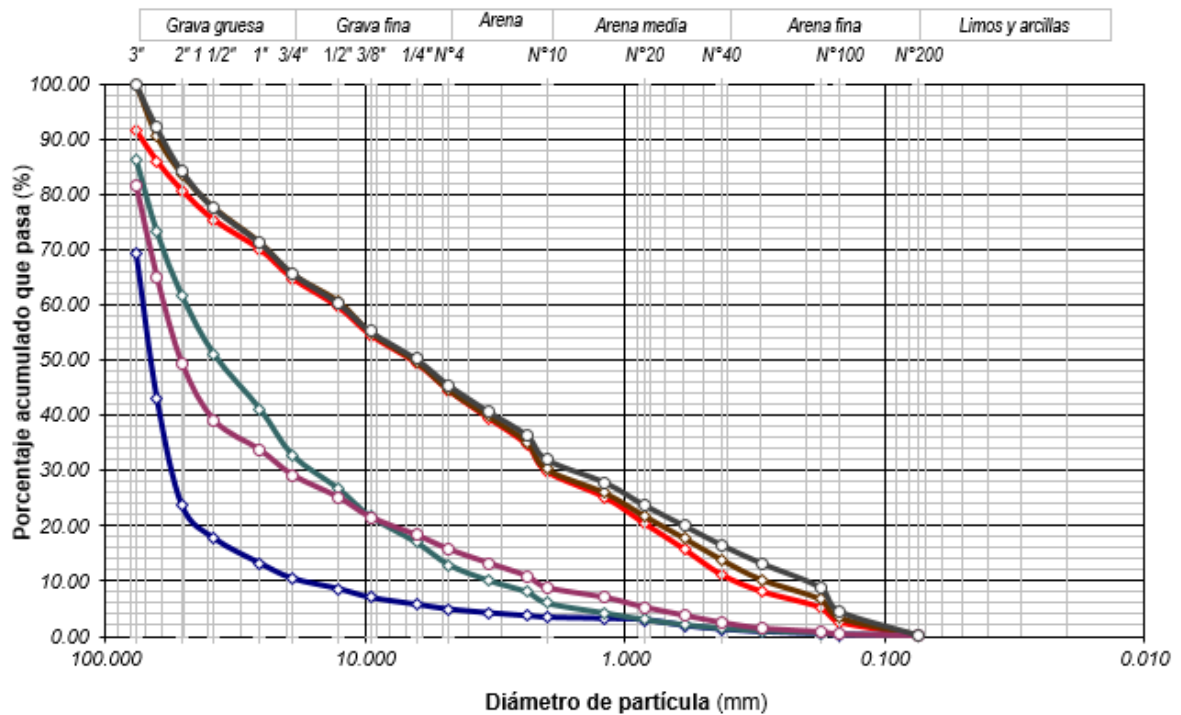


Figura 24. Curva Granulométrica

Fuente: Elaboración propia

Se realizó dos calicatas en las cuales se tomó tres muestras de cada una a diferentes profundidades. Del análisis granulométrico se obtiene que la clasificación predominante de suelos fue GP (grava pobremente graduada con arena), con una ligera tendencia a SP (arena pobremente graduada con grava), resultados de característica positiva para la construcción de pilares y estribos.

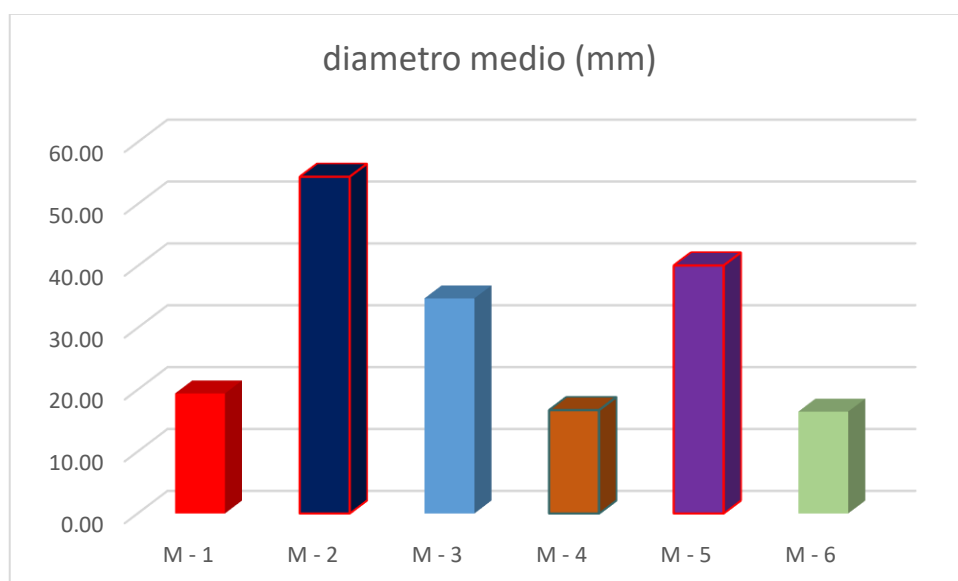


Figura 25. Diámetro medio

Según los resultados obtenidos del diámetro medio de las partículas, se escogió las muestras a 1.20m de profundidad, es decir, la M2 y M5. Como se realizaron dos calicatas, el diámetro medio a utilizar para el análisis de socavación fue el promedio aritmético de estas dos muestras; nuestro diámetro medio fue **47.25 mm**.

Se calculó también el peso específico de la muestra:

**Tabla 16.** *Peso específico de la muestra*

Altura del recipiente:		20.5 cm
Diámetro del recipiente:		20.3 cm
Peso del recipiente + la muestra:		17.28 kg
Peso del recipiente:		3.45 kg
Peso de la muestra:		13.83 kg
		0.01383 ton
Radio:		10.16 cm
Área base circular:		323.71 cm <sup>2</sup>
Volumen del cilindro:		6636 cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico:</b>		<b>2.08 ton/m<sup>3</sup></b>

Fuente: (Guillen, 2019, p. 77)

En el ensayo aplicado por el autor para obtener el peso específico, se obtuvo como resultado **2.08 ton/m<sup>3</sup>**.

El tipo de suelo, el diámetro medio y el peso específico son datos fundamentales para el cálculo de la socavación.

## Puente Moche

Tabla 17. *Análisis granulométrico*

Calicata	C - 1	C - 1	C - 1	C - 2	C - 2	C - 2	
Muestra	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	M - 6	
Profundidad (m)	0.30	1.20	2.30	0.30	1.20	2.30	
Análisis Granulométrico por Tamizado - NTP 399.128: ASTM D 422							
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa					
3"	76.200	100.00	64.38	88.55	100.00	66.00	100.00
2"	50.800	93.22	33.53	77.95	94.72	36.25	91.03
1 1/2"	38.100	83.42	14.72	72.63	85.87	21.73	84.05
1"	25.400	75.15	9.68	65.58	77.55	16.97	76.33
3/4"	19.050	67.45	6.98	60.52	69.72	14.45	69.20
1/2"	12.700	60.32	5.68	55.63	62.47	13.03	62.50
3/8"	9.525	54.62	4.88	51.45	56.53	12.03	57.03
N° 4	4.760	47.35	4.30	46.55	49.35	11.40	51.25
N° 10	2.000	39.85	3.23	41.32	41.52	9.88	44.37
N° 20	0.840	32.18	2.30	34.53	33.55	7.93	36.30
N° 30	0.590	25.88	1.73	28.12	26.22	6.70	29.07
N° 40	0.426	18.68	1.25	20.93	19.40	5.08	21.45
N° 60	0.250	11.60	0.80	12.83	12.37	2.78	13.17
N° 100	0.149	5.28	0.48	4.98	5.73	1.43	5.15
N° 200	0.074	0.20	0.15	0.17	0.23	0.18	0.18
Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)							
Clasificación	SP con grava	GP con arena	SP con grava	SP con grava	GP con arena	SP con grava	
diámetro medio (mm)	12.88	52.16	20.44	11.84	48.71	12.52	

Fuente: (Avalos, 2019, p. 54-62)

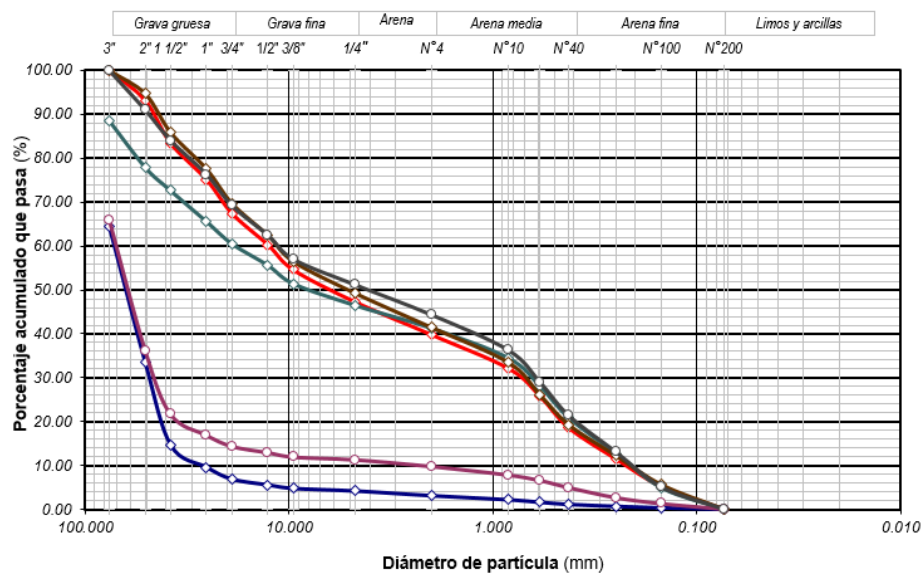


Figura 26. Curva Granulométrica

Fuente: Elaboración propia



Del análisis granulométrico del Autor (Avalos, C., 2019), se infirió que la clasificación predominante de fue SP (arena pobremente graduada con grava), con tendencia a GP (grava pobremente graduada con arena), resultados de característica positiva para la construcción de pilares y estribos, y llamado también como suelo acorazado.

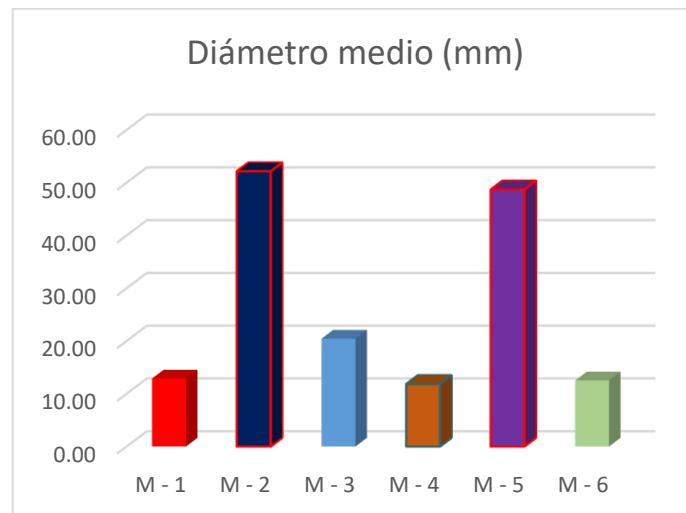


Figura 27. Diámetro medio

Según los resultados obtenidos del diámetro medio de las partículas según el Autor (Avalos, C., 2019), se escogió las muestras a 1.20m de profundidad, es decir, la M2 y M5. Como se realizaron dos calicatas, el diámetro medio a utilizar para el análisis de socavación fue el promedio aritmético de estas dos muestras; nuestro diámetro medio fue **50.44 mm**.

Calculamos también el peso específico de la muestra:

**Tabla 18.** *Peso específico de la muestra*

Altura del recipiente:		20.50 cm
Diámetro del recipiente:		20.30 cm
Peso del recipiente + la muestra:		16.53 kg
Peso del recipiente:		3.34 kg
Peso de la muestra:		13.19 kg
		0.0132 ton
Radio:		10.15 cm
Área base circular:		323.71 cm <sup>2</sup>
Volumen del cilindro:		6636.0 cm <sup>3</sup>
Peso específico:		1.987 ton/m <sup>3</sup>

Fuente: (Avalos, 2019, p. 63)



En el ensayo aplicado por el autor para obtener el peso específico, se obtuvo como resultado **1.987 ton/m<sup>3</sup>**.

El tipo de suelo, el diámetro medio y el peso específico son datos fundamentales para el cálculo de la socavación.

#### 4.2.2 Cálculo de Caudal Máximo

##### Puente Libertad

Para este cálculo, el autor obtuvo datos in situ, para luego ser procesados en el programa HCANALES, considerando el cauce del rio como un canal y el suelo tierra natural.

Ancho de solera= 200m

Pendiente= 0.003m/m

Tirante medido= 2.3m

Coefficiente de rugosidad = 0.035

Lugar:	CIUDAD DE DIOS	Proyecto:	MEDICION DE CAUDAL
Tramo:	PUENTE LIBERTAD	Revestimiento:	TIERRA

<b>Datos:</b>	
Tirante (y):	2.3 m
Ancho de solera (b):	200 m
Talud (Z):	0
Coefficiente de rugosidad (n):	0.035
Pendiente (S):	0.003 m/m

<b>Resultados:</b>	
Caudal (Q):	1235.4312 m <sup>3</sup> /s
Área hidráulica (A):	460.0000 m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R):	2.2483 m
Número de Froude (F):	0.5654
Tipo de flujo:	Subcrítico
Velocidad (v):	2.6857 m/s
Perímetro (p):	204.6000 m
Espejo de agua (T):	200.0000 m
Energía específica (E):	2.6676 m-Kg/Kg

**Cuidado velocidad erosiva**

Calcular	Limpiar Pantalla	Imprimir	Menú Principal	Calculadora
----------	------------------	----------	----------------	-------------

Figura 28. Resultados del programa HCANALES

El caudal calculado fue 1235.43 m<sup>3</sup>/seg, el cual además sirvió para el modelamiento en Hec Ras, ya que consideraremos este como el caudal de diseño, el mismo presente en el fenómeno del Niño y el tipo de flujo es subcrítico (N. Froude <1)

## Puente Moche

Para este cálculo, el autor obtuvo datos in situ, para luego ser procesados en el programa HCANALES, considerando el cauce del rio como un canal y el suelo de concreto.

Ancho de solera= 16.9 m

Pendiente= 0.0313 m/m

Tirante medido= 1.6 m

Coefficiente de rugosidad = 0.014

Lugar:	El Porvenir - Trujillo	Proyecto:	medición del caudal máximo
Tramo:	calle Hipólito Unanue	Revestimiento:	concreto

<b>Datos:</b>		
Tirante (y):	1.6 m	
Ancho de solera (b):	16.9 m	
Talud (Z):	0	
Coeficiente de rugosidad (n):	0.014	
Pendiente (S):	0.0313 m/m	

<b>Resultados:</b>		
Caudal (Q):	416.4133 m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v): 15.3999 m/s
Área hidráulica (A):	27.0400 m <sup>2</sup>	Perímetro (p): 20.1000 m
Radio hidráulico (R):	1.3453 m	Espejo de agua (T): 16.9000 m
Número de Froude (F):	3.8871	Energía específica (E): 13.6875 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico	

Calcular	Limpiar Pantalla	Imprimir	Menú Principal	Calculadora
----------	------------------	----------	----------------	-------------

Figura 29. Resultados del programa HCANALES

El caudal calculado fue 416.41 m<sup>3</sup>/seg, sin embargo, el cual escogido fue el proporcionado por la estación meteorológica 440.16 m<sup>3</sup>/se. el cual sirvió para el

modelamiento en Hec Ras, ya que consideraremos este como el caudal de diseño, el mismo presente en el fenómeno del Niño y el tipo de flujo es subcrítico ( $N. Froude < 1$ )

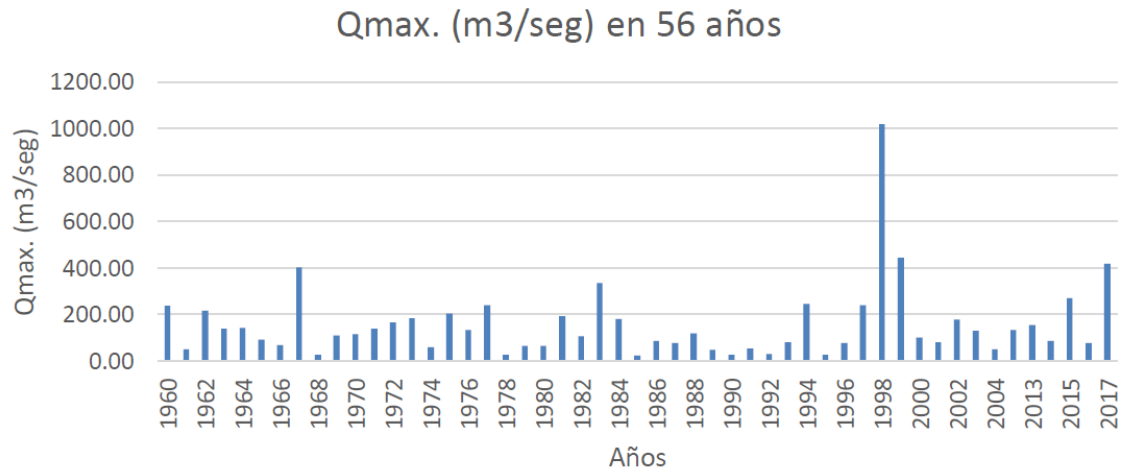


Figura 30. Qmax. registrado en la estación meteorológica Quirihuac

## COMPARACIÓN DE RESULTADOS

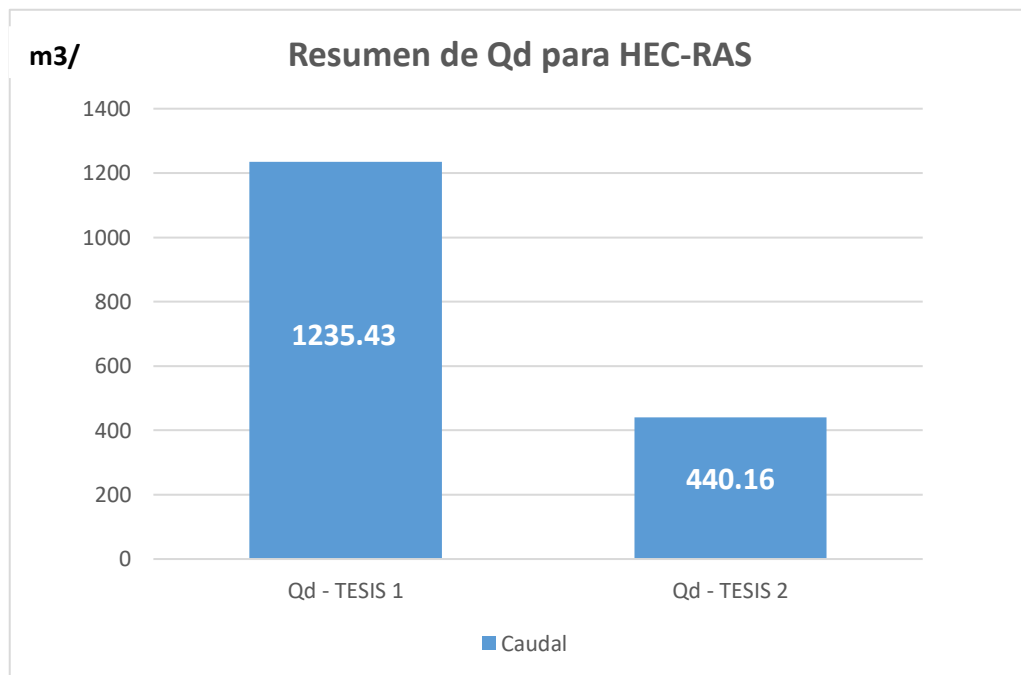


Figura 31. Caudales para modelamiento en Hec - Ras



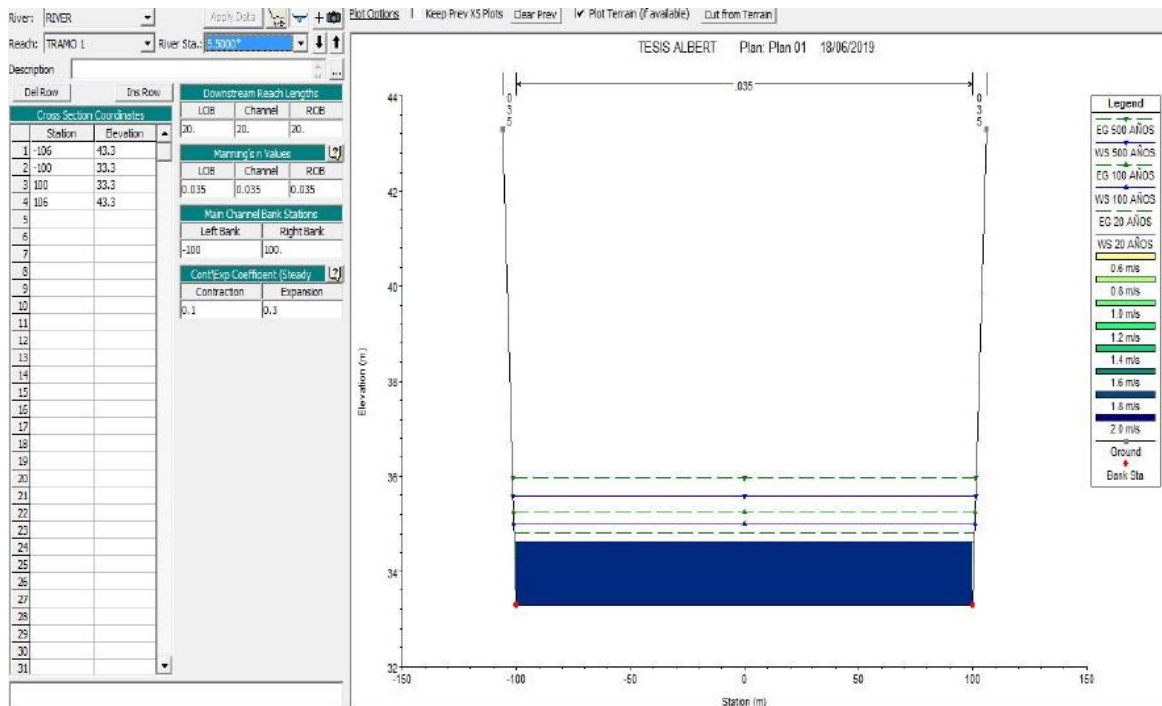


Figura 34. Sección transversal 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS

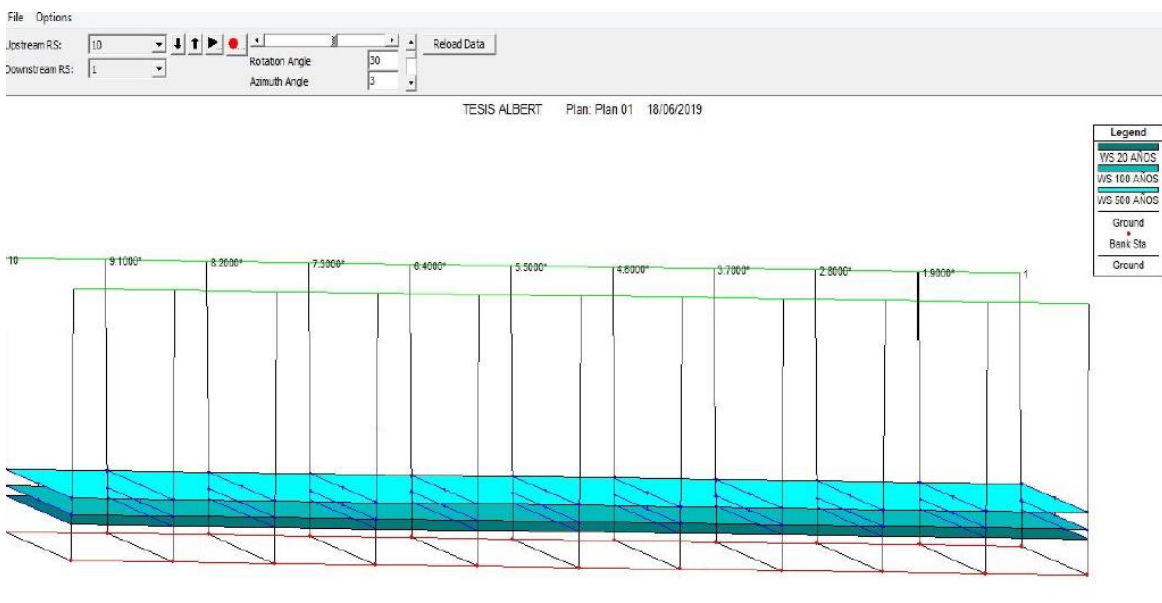


Figura 35. Vista tercera dimensión del flujo del caudal

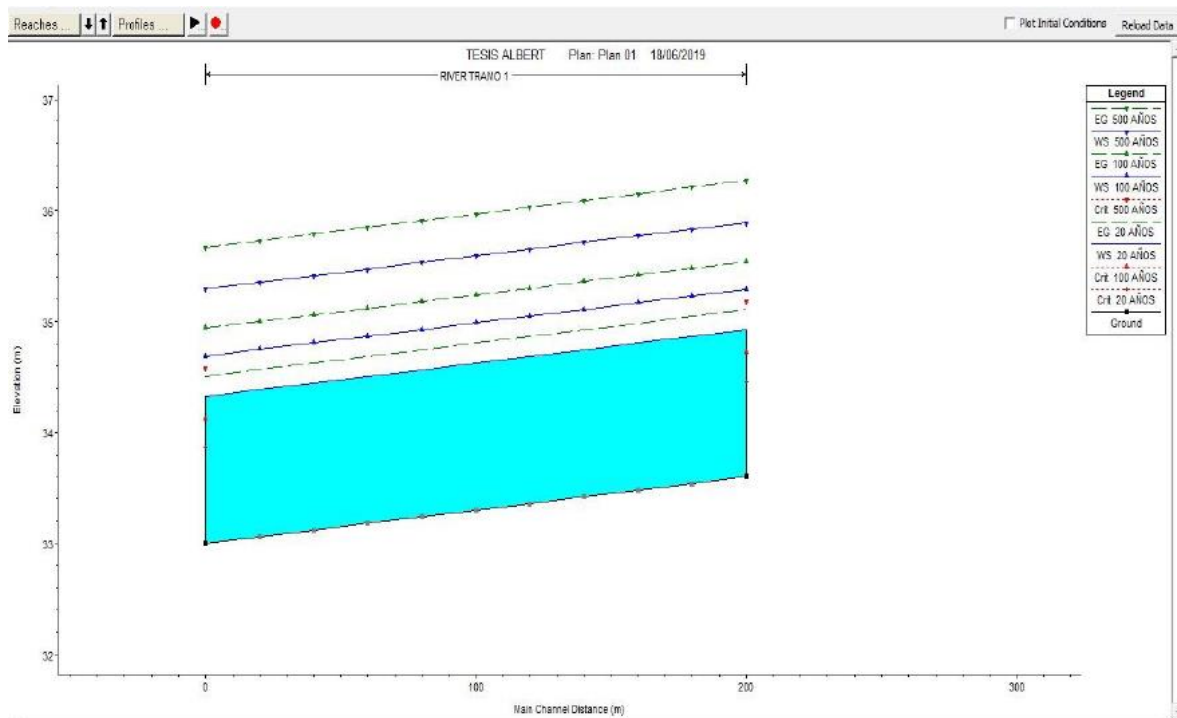


Figura 36. Distancia recorrida y altura HEC-RAS

## Socavación General

### Método Lischtvan – Levediev

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \alpha \rho D_m^{0.28}} \right]^{1/(1+z)}$$

Conociendo las variables de la ecuación, se procedió a resumir los valores obtenidos por el programa Hec-Ras, en la tabla siguiente

**Tabla 19.** Tabla de resultados por Hec Ras

Hs: Profundidad de socavación	?
Qd: caudal de diseño	1235.43 m <sup>3</sup> /s
Be: ancho efectivo de la superficie	200.00 m
Ho: tirante antes de la erosión	2.30
Vm: velocidad media en la sección	2.68 m/s
α: coeficiente de contracción	0.96
gd: peso específico del suelo del cauce	2.08 tn/m <sup>3</sup>
dm: diámetro medio	47.25 mm
x: exponente variable	0.30
Tr: periodo de retorno del gasto de diseño	500.00 años
β: coeficiente de frecuencia del caudal de diseño	1.05
A: área de la sección hidráulica	459.90 m <sup>2</sup>
Hm: profundidad media de la sección	2.30 m

Fuente: elaboración propia

Resolviendo la ecuación del Método Lischtván – Levediev, obtenemos un  $H_s = 2.37\text{m}$ , es decir, una socavación de  $0.07\text{ m}$ , aproximando este resultado a **0.10 m**

### Socavación en Estribos

Método K. F. Artamonov

$$H_T = K_\theta * k_Q * k_m * h$$

Conociendo las variables de la ecuación, se procedió a resumir los valores obtenidos por el programa Hec-Ras, en la tabla siguiente

**Tabla 20.** *Tabla de resultados por Hec Ras*

HT: tirante incrementado al pie del estribo	?
Ho: tirante en la zona cercana al estribo antes de la erosión	2.30 m
Qd: caudal de diseño	1234.35 m <sup>3</sup> /s
Q1: caudal teórico en el etribo del margen izquierdo	29.00 m <sup>3</sup> /s
Relación Q1/Qd:	0.02
Pq: Coeficiente de la relación Q1/Qd	2.00
a: angulo que forma el eje del estribo con la corriente	90°
Pa: coeficiente que depende del angulo a	1.00
R: talud que tiene el estribo	0.10
PR: coeficiente del talud del estribo	1.00

Fuente: elaboración propia

Resolviendo la ecuación del Método K. F. Artamonov, se obtuvo un  $H_t = 4.60\text{ m}$ , es decir, una socavación de **2.30 m**.

### Socavación en Pilares

Método Neill

$$Y_s = 1.5 * ((a'')^{(0.7)}) * (h^{0.3})$$

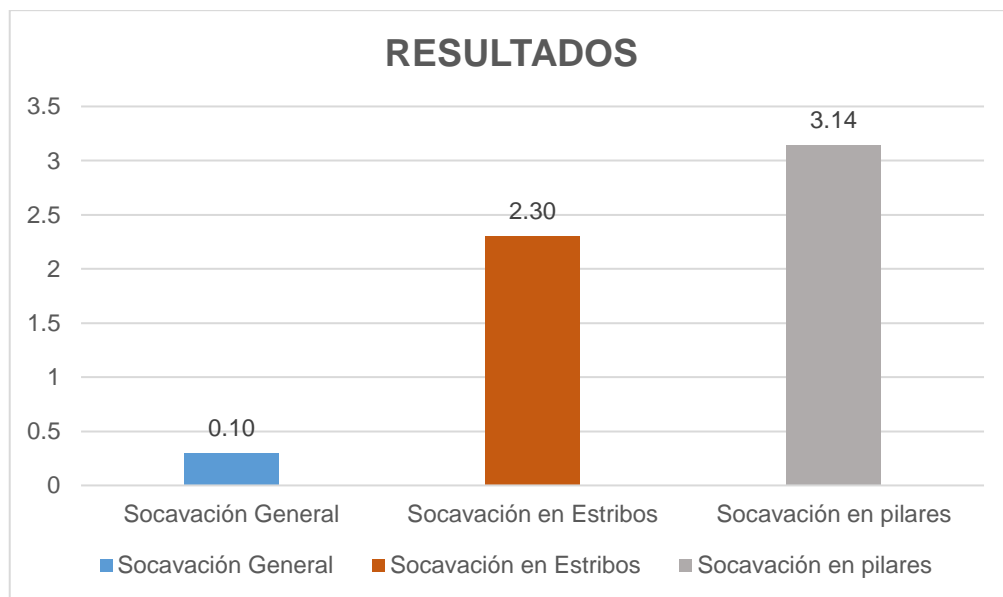
Conociendo las variables de la ecuación, se procedió a resumir los valores obtenidos por el programa Hec-Ras, en la tabla siguiente

**Tabla 21.** *Tabla de resultados por Hec Ras*

a: ancho proyectado del pilar	2.00 m
h: profundidad de flujo aguas arriba del pilar	2.30 m

Fuente: elaboración propia

Resolviendo la ecuación del Método Neill, se obtuvo un  $Y_s = 3.14$  m para cálculo de socavación en pilares.



*figura 37.* Resultados de Socavación

El gráfico muestra la socavación total que ocurrirá en el puente considerando un periodo de retorno de 500 años, observando que la socavación con mayor profundidad se presentará en los pilares, sin embargo, los resultados deben evaluarse tomando en apreciación la prueba y el juicio del profesional.



## Modelamiento Puente Moche

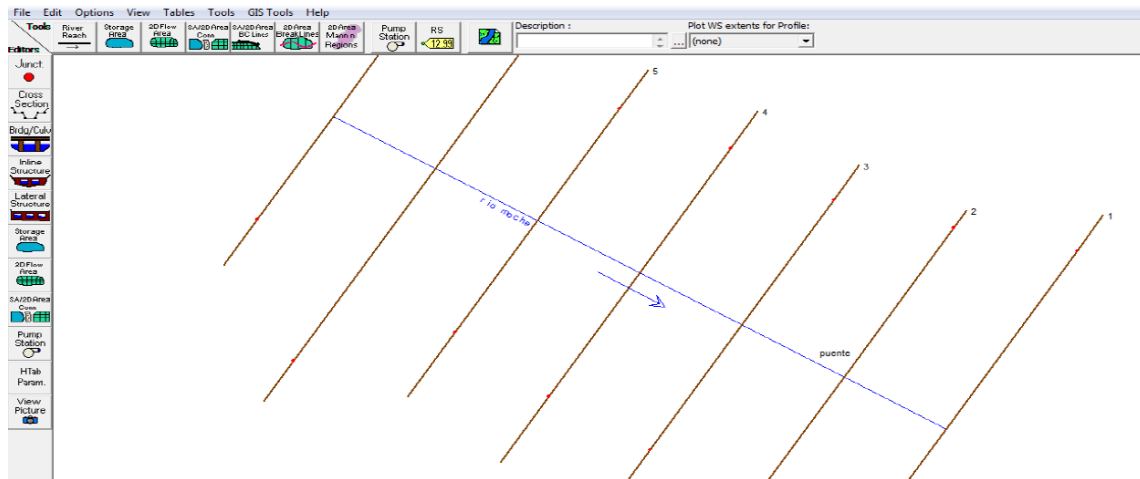


figura 38. Geometría del río cada 20m

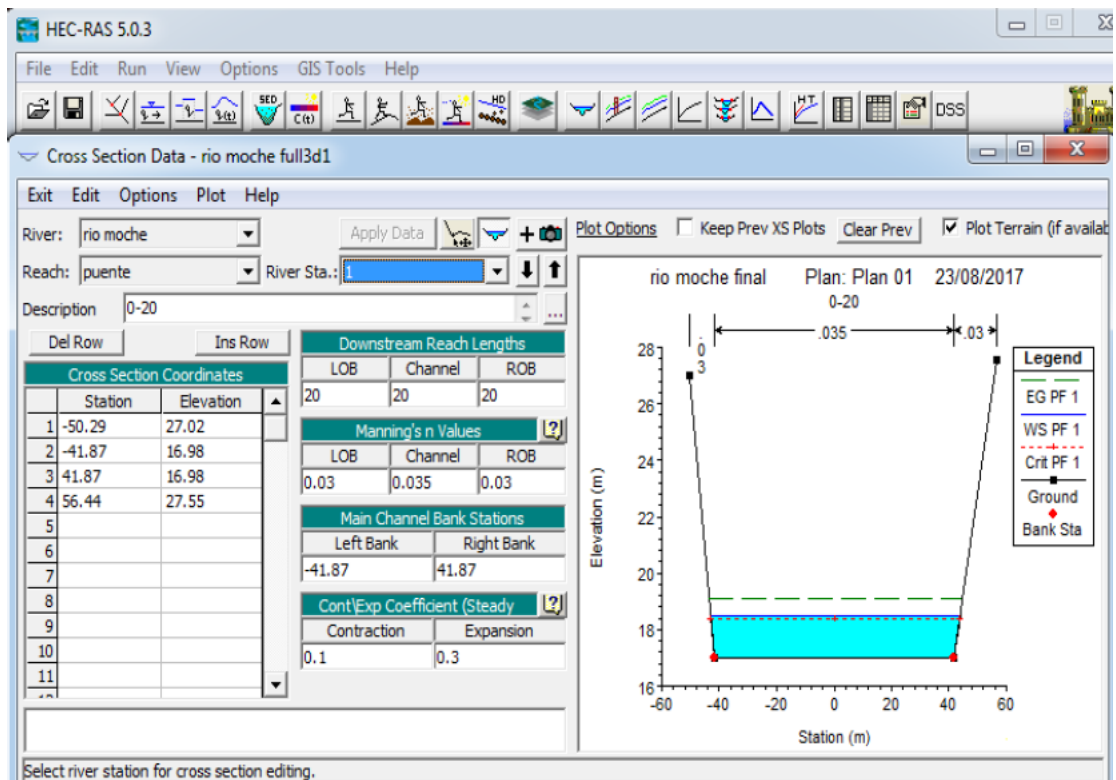


figura 39. Sección transversal del río Moche 20 m aguas abajo del puente HEC-RAS

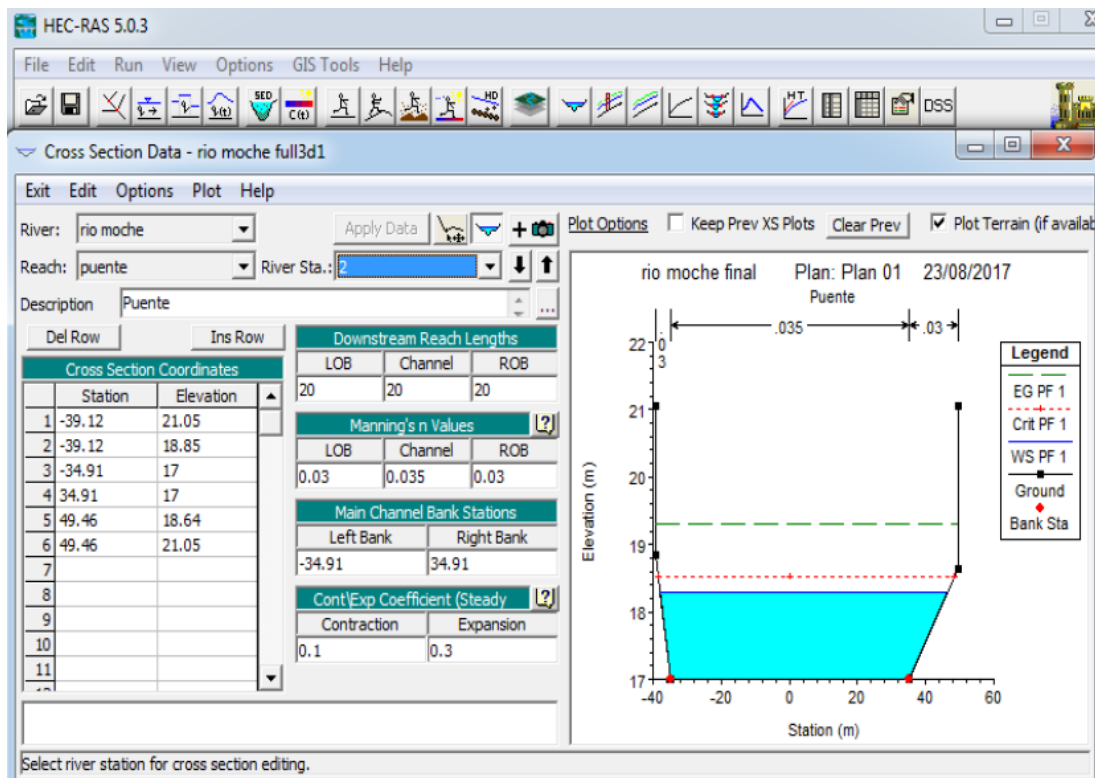


figura 40. Sección transversal del río Moche bajo el puente HEC-RAS

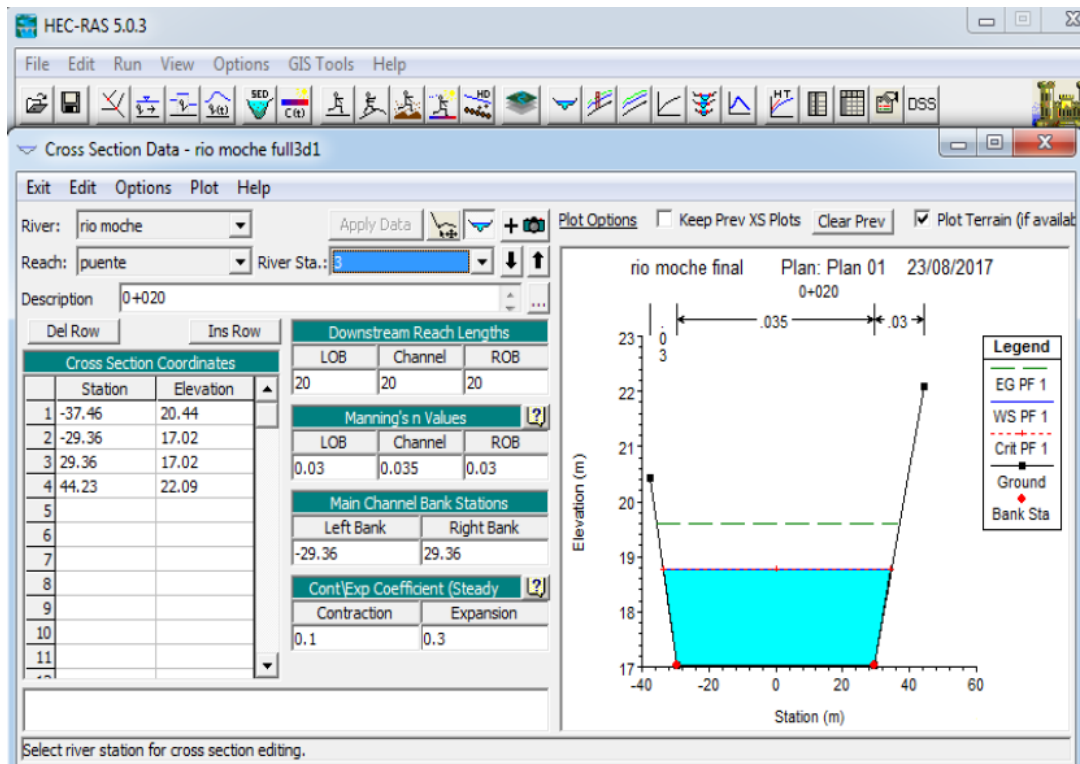


figura 41. Sección transversal del río Moche 20 m aguas arriba del puente HEC-RAS

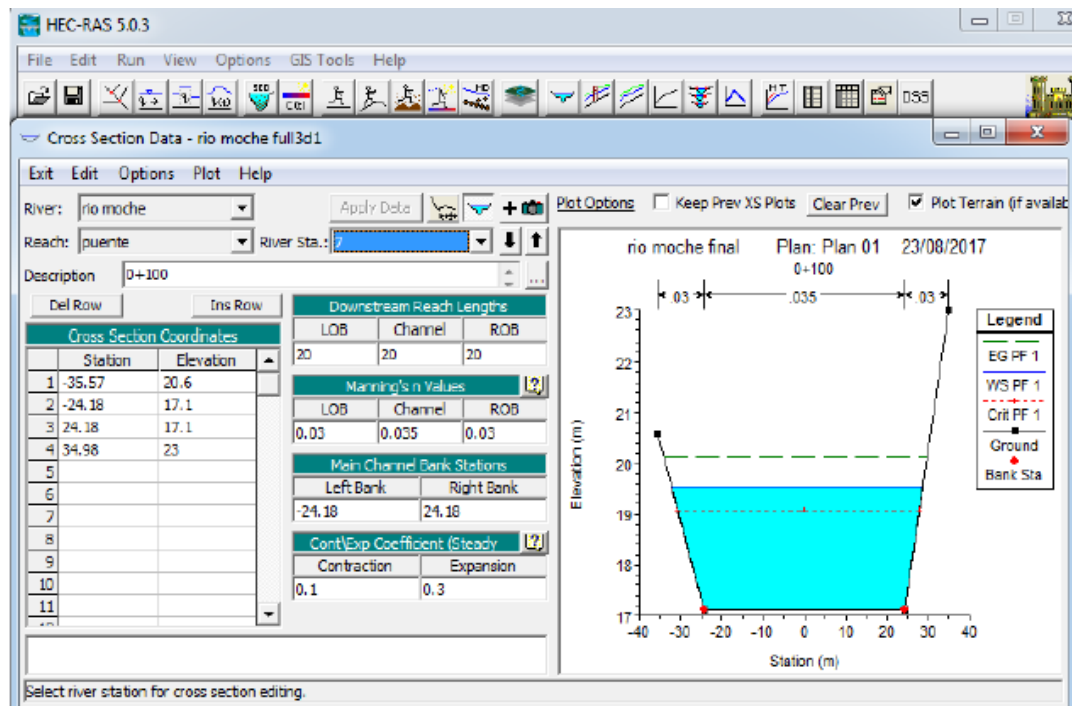


figura 42. Sección transversal del río Moche 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS

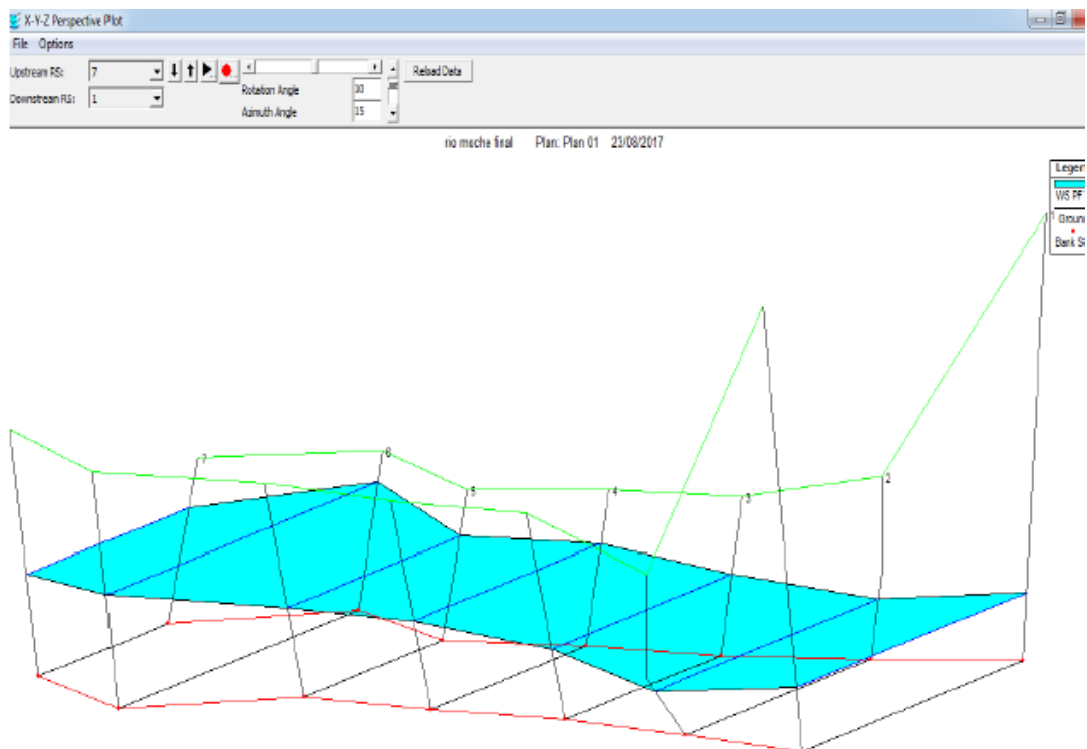


figura 43. Vista tercera dimensión del flujo del caudal

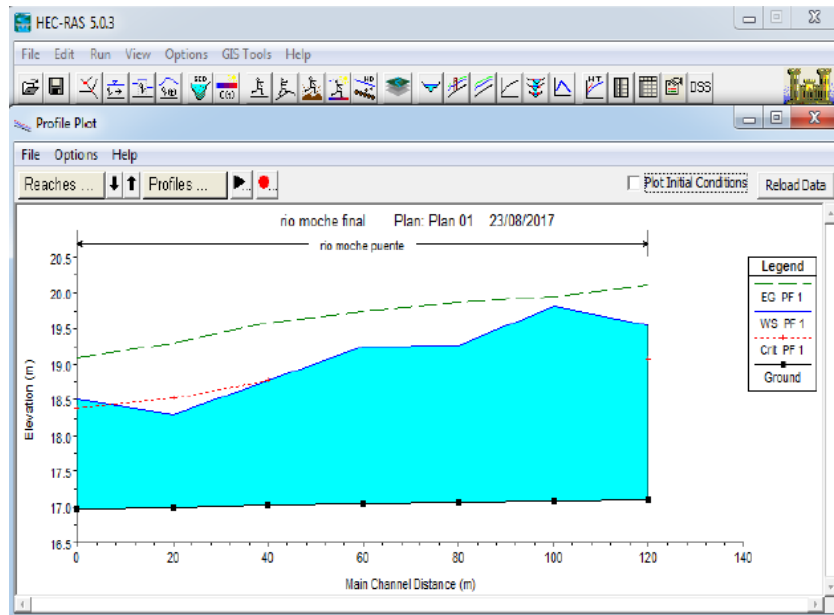


figura 44. Distancia recorrida y altura HEC-RAS

## Socavación General

### Método Lischtvan – Levediev

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \alpha \varphi D_m^{0.28}} \right]^{1+z}$$

Conociendo las variables de la ecuación, se procedió a resumir los valores obtenidos por el programa Hec-Ras, en la tabla siguiente

**Tabla 22.** Tabla de resultados por Hec Ras

Hs: Profundidad de socavación	?
Qd: caudal de diseño	440.16 m3/s
Be: ancho efectivo de la superficie	90.00 m
Ho: tirante antes de la erosión	
Vm: velocidad media en la sección	2.20 m/s
α: coheficiente de contracción	4.54
gd: peso específico del suelo del cauce	1.98 tn/m3
dm: diámetro medio	50.44 mm
x: exponente variable	0.28
Tr: periodo de retorno del gasto de diseño	500.00 años
β: coeficiente de frecuencia del caudal de diseño	1.05
A: área de la sección hidráulica	183.00 m2
Hm: profundidad media de la sección	2.03 m

Fuente: elaboración propia

Resolviendo la ecuación del Método Lischtván – Levediev, obtenemos un  $H_s = 2.29$  m, es decir, una socavación de 0.09 m, aproximando este resultado a **0.10 m**

### Socavación en Estribos

Método K. F. Artamonov

$$H_T = K_\theta * k_Q * k_m * h$$

Conociendo las variables de la ecuación, se procedió a resumir los valores obtenidos por el programa Hec-Ras, en la tabla siguiente

**Tabla 23.** *Tabla de resultados por Hec Ras*

HT: tirante incrementado al pie del estribo	?
Ho: tirante en la zona cercana al estribo antes de la erosión	2.20 m
Qd: caudal de diseño	440.16 m <sup>3</sup> /s
Q1: caudal teórico en el estribo del margen izquierdo	5.00 m <sup>3</sup> /s
Relación Q1/Qd:	0.011
Pq: Coeficiente de la relación Q1/Qd	2.00
a: angulo que forma el eje del estribo con la corriente	90°
Pa: coeficiente que depende del angulo a	1.00
R: talud que tiene el estribo	6.93
PR: coeficiente del talud del estribo	0.86

Fuente: elaboración propia

Resolviendo la ecuación del Método K. F. Artamonov, se obtuvo un  $H_t = 3.78$  m, es decir, una socavación de 1.58 m, aproximando este resultado se obtuvo como resultado una socavación en estribos de **1.60 m**.

### Socavación en Pilares

Método Neill

$$Y_s = 1.5 * ((a'')^{(0.7)}) * (h^{0.3})$$

Conociendo las variables de la ecuación, se procedió a resumir los valores obtenidos por el programa Hec-Ras, en la tabla siguiente

**Tabla 24.** *Tabla de resultados por Hec Ras*

a: ancho proyectado del pilar	0.60 m
h: profundidad de flujo aguas arriba del pilar	1.77 m

Fuente: elaboración propia

Resolviendo la ecuación del Método Neill, se obtuvo un  $Y_s = 1.24 \text{ m}$  para cálculo de socavación en pilares.

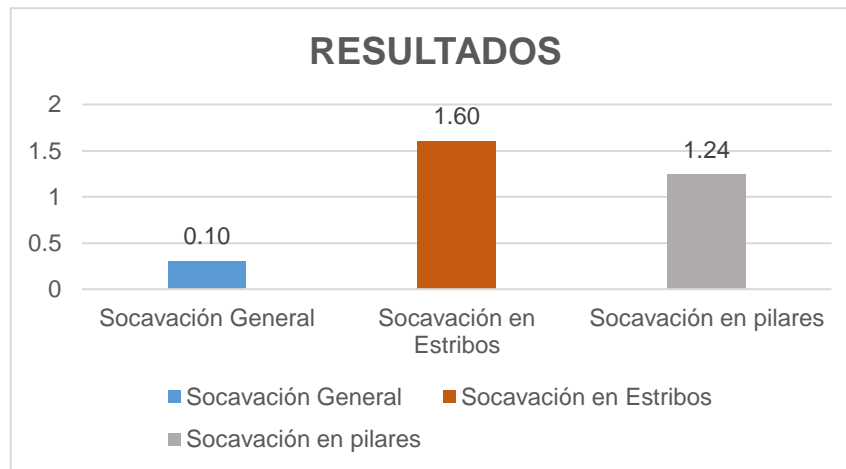


figura 45. Resultados de Socavación

El gráfico muestra la socavación total que ocurrirá en el puente considerando un periodo de retorno de 500 años, se observó que la socavación con mayor profundidad se presentará en los estribos, sin embargo, los resultados deben evaluarse tomando en apreciación la prueba y el juicio del profesional.

#### Cuadro comparativo de resultados

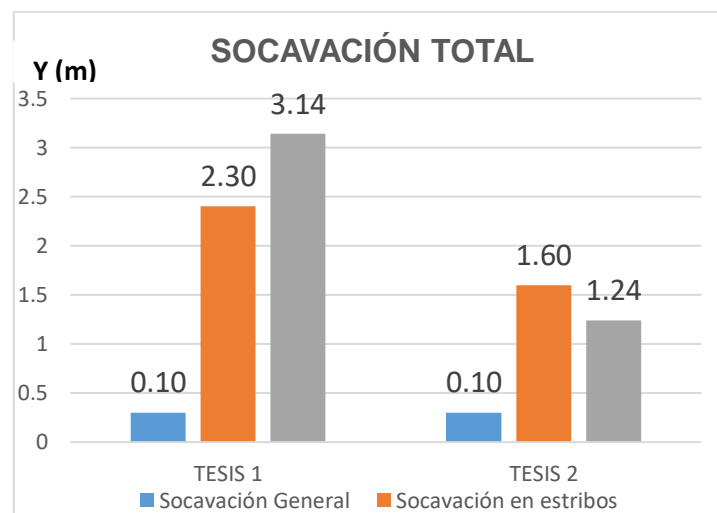


figura 46. Gráfico de resultados de socavación total

En la figura se presentó los resultados para la socavación total con su tipo y método respectivo, sin embargo, los resultados deben evaluarse tomando en apreciación la prueba y el juicio del profesional.

## V. DISCUSIÓN

### Discusión 1

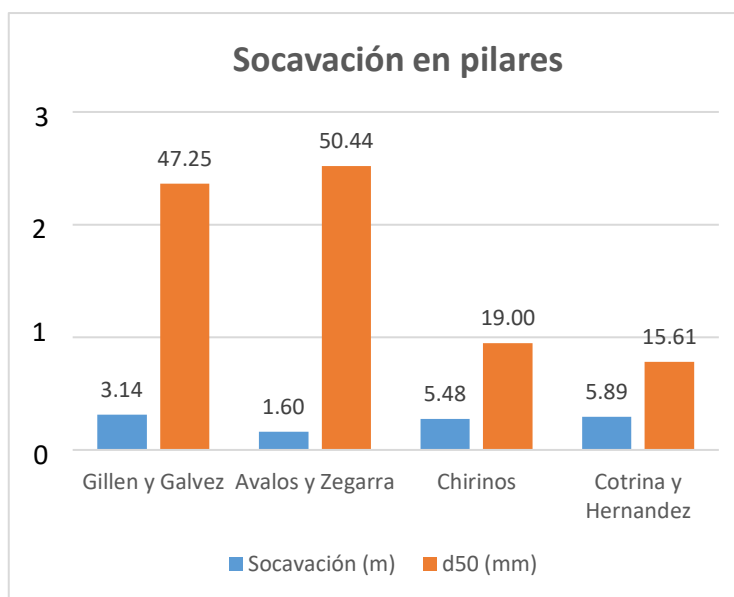
Gerónimo (2019), en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil titulada “Estimación de la socavación producida por el flujo de agua del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap utilizando el programa Hec-Ras, Sinsicap - Provincia de Otuzco.”, en la Universidad Nacional de Trujillo, cuyo objetivo general fue estimar la socavación total producida por el flujo de agua del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap empleando el programa HEC RAS. El tipo de investigación fue descriptivo; ya que se observa y precisa la socavación producto del flujo del río en los estribos, tal como se presenta en forma natural, para caracterizar varios parámetros de la cuenca del puente con el objetivo de instaurar la estructura, naturaleza estándar y comportamiento de esta. Según la investigación del autor, afirmó que conociendo la influencia de la socavación en el puente Sinsicap, se estimó 10 años más como tiempo de servicio aproximadamente, esto debido a que se calculó la socavación producida por el flujo del río Martho al pie de estribos del puente con el programa Hec Ras, resolviendo que la erosión crítica se da para un periodo de retorno de 500 años en la cual la socavación total estimada en el estribo izquierdo y derecho es 4.05 m y 3.84 m respectivamente; bajo esa premisa el autor indica que la protección de la cimentación es primordial, para ello se debe considerar el sistema de enrocados de protección, ya que, según el expediente técnico, el puente Sinsicap tiene una cimentación de 2.00 m de profundidad. La tesis de Gerónimo nos sirvió como punto de partida para desarrollar el planteamiento de la problemática de nuestra investigación; dado que este fenómeno no es un problema actual, sino que es una de las principales causas de colapso de puentes desde tiempo antaño. En base a los resultados recolectados de investigaciones desarrolladas en Perú, podemos determinar que la influencia de conocer la socavación en el diseño de puentes es positiva, principalmente porque nos permitió conocer una profundidad mínima de estribos que se deberá considerar en el diseño, en esta investigación una profundidad de 3.20m desde el lecho del río; concordando de esta forma con el autor.

## Discusión 2

Avalos y Zegarra (2018), en su tesis para obtener el grado profesional de Ingeniero Civil titulada “Evaluación de la socavación que producirá en pilares y estribos del Puente Moche, la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso”, en la Universidad Privada del Norte. El tipo de investigación fue cuantitativo correlacional. Los resultados obtenidos en dicha investigación nos permitieron establecer la influencia de las condiciones geotécnicas en la socavación, basada en los resultados recolectados de investigaciones desarrolladas en Perú, sosteniendo que los ríos con partículas de mayor diámetro resultan ser resistentes a la socavación



figura 47. Gráfico comparativo socavación en estribos – diámetro medio





*figura 48.* Gráfico comparativo socavación en pilares – diámetro medio

Como se puede apreciar en las figuras, los tesisistas Guillen, Avalos, Chirinos y Cotrina concuerdan en que existe una relación inversa entre el diámetro medio y la socavación, mientras el diámetro característico del lecho sea mayor, la socavación tendrá un valor menor. Bajo todas las premisas expuestas se concreta con el autor en su postura ante los factores geotécnicos.

### Discusión 3

Guillen y Gálvez (2019), en su tesis para obtener el grado profesional de Bachiller en Ingeniería Civil titulada “Evaluación de la socavación producida en pilares y estribos del puente libertad causado por el fenómeno el niño. Distrito de Guadalupe, la libertad.”, en la Universidad Privada del Norte, cuyo objetivo fue establecer las disposiciones hidrológicas del río Jequetepeque bajo condiciones del fenómeno del Niño y su efecto en el nivel de socavación de pilares y estribos del puente Libertad. El tipo de investigación fue cuantitativa, porque se basa en el estudio y análisis de la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición. Según la investigación del autor, afirmó que las condiciones hidrológicas en el fenómeno originaron un caudal máximo de 1235 m<sup>3</sup>/s y tirante de 2.30m, sin embargo, no es significativo para afectar la utilidad del puente Libertad, este no desbordará ni en periodos de retorno de 500 años. El efecto que genera la variación de la hidrología en la socavación total es no significativo, ya que el puente tiene una altura de 8 metros. En base a los resultados recolectados de investigaciones desarrolladas en Perú, podemos determinar que la influencia de la variación de la hidrología superficial no influye principalmente en la socavación, dado que esto depende de dos factores que son la base y la pendiente de la sección.

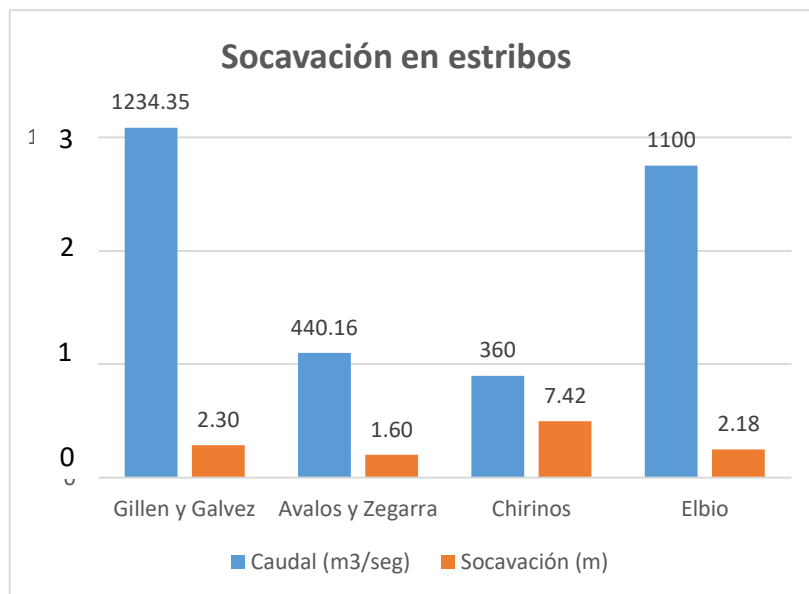


figura 49. Gráfico comparativo socavación en estribos – Caudal

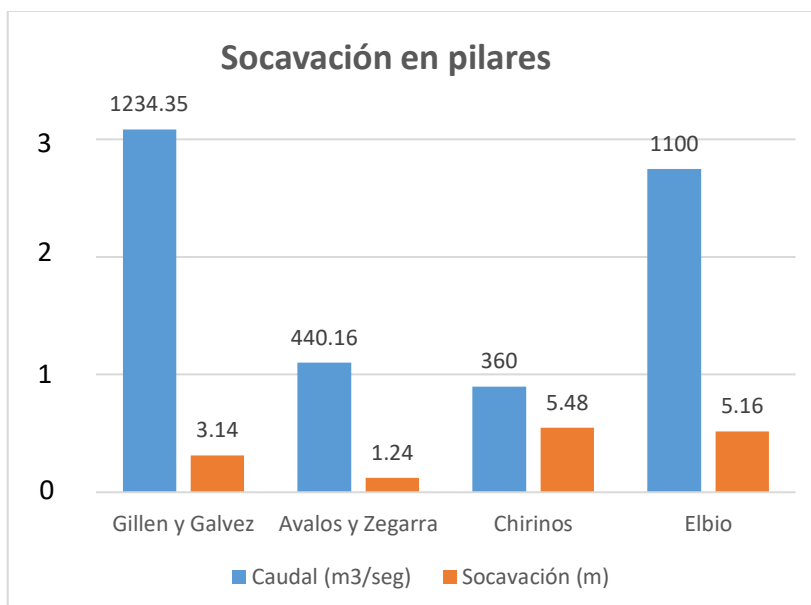


figura 50. Gráfico comparativo socavación en pilares – Caudal

Como se puede apreciar en las figuras el objetivo es analizar la relación Caudal y socavación en los estribos y pilares, se observa que no hay una relación directa, es decir, no se puede afirmar que, a mayor caudal, mayor socavación, asumiendo de esta forma una postura a favor con el autor.

#### Discusión 4

Felipe (2016), en su tesis para obtener el grado profesional de Master en Ingeniería Civil titulada “Socavación producida por el río Huallaga al puente colpa alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de artamanov, straub y maza, en el hec-ras.”, en la Universidad de Piura, cuyo objetivo general fue conocer los resultados obtenidos en los cálculos de socavación transversal, general y de estribos del río Huallaga en el puente Colpa Alta en la provincia Huánuco, aplicando los Métodos de Artamonov, Straub y Maza utilizando el programa hidráulico HEC-RAS. El tipo de investigación fue descriptivo-explicativo. En la investigación el autor obtuvo los resultados de socavación mediante los métodos propuestos, Artamonov en el cual calculó una profundidad de 2.18 m para el estribo derecho y 1.51 m para el estribo izquierdo. Para el método Straub calculó una profundidad de 7.53 m en la sección transversal del río. Para el método Maza calculó una profundidad de 5.16 m, como socavación general. Los resultados obtenidos para estos métodos fueron prácticos de obtener debido al uso del programa Hec Ras, el cual facilita el procesamiento de datos y formulas empíricas. Software que sirvió para que el cálculo en la presente investigación se desarrollara de manera práctica y técnica. Con el principal objetivo de obtener resultados con un método moderno que nos permite estar a la vanguardia de la ciencia.; finalmente ante lo expuesto por Felipe ratificamos nuestra postura a favor de la investigación del autor.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se resolvió que la evaluación de la socavación mejora el diseño de puentes. Se debe considerar el análisis y estudio de este en la etapa de planteamiento, ya que permite conocer un rango de profundidades que deben tener como mínimo los estribos y pilares; así mismo para el caso de estructuras de arte que se encuentran contruidos, permite establecer obras de protección. Para ambos casos permite que el tiempo de servicio de los puentes que interactúan con ríos, perdurará al pasar de los años y tenga mejor respuesta funcional ante los fenómenos naturales.
2. Se determinó mediante los ensayos del laboratorio de suelos y los resultados de la socavación general, para los casos en estribos y pilares, que existe una influencia inversa con respecto a las condiciones geotécnicas, debido a que en suelos donde el diámetro medio es mayor, la socavación es menor. En esta investigación; los diámetros medios obtenidos fueron 47.25mm y 50.44mm estableciendo que la socavación para estos tipos de suelos GP y SP, respectivamente; no resultaría significativa para el tiempo de servicio de los puentes.
3. Se estableció mediante la comparación de resultados que la variación de la hidrología no influye directamente en la socavación, es decir, que un incremento en el caudal no necesariamente significa una mayor erosión, debido a que este fenómeno depende principalmente de dos factores; la base de la sección, que puede almacenar grandes caudales sin producir una resistencia significativa para socavar. Y la pendiente, porque si esta característica es mayor, generaría un incremento en la velocidad, con ello mayor erosión. Para esta investigación se determinó que el caudal máximo del puente libertad fue 1235.43m<sup>3</sup>/seg y para el puente moche 440.16m<sup>3</sup>/seg., valores no significativos, que no generarían desborde ni una socavación que resulte peligrosa para el funcionamiento.
4. Se comprobaron los resultados de socavación entre los cálculos empíricos y el uso del programa Hec Ras. Se obtuvo la socavación general, en estribos y pilares, para el puente Libertad fue 0.10m, 2.30m y 3.14m; y para el puente Moche fue 0.10m, 1.60m y 1.24m, respectivamente. Cabe indicar que estos

puentes están contruidos de forma adecuada debido a que tienen alturas 8 m y 12m. Ante lo expuesto se concluye que existe una influencia positiva en el uso del programa, ya que permitió conocer la socavación de manera práctica y técnica; siempre manteniéndonos a la vanguardia del software que se usan como herramienta en la ingeniería.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Para futuros proyectos de puentes a ejecutar, se debe tener en cuenta las características del río, como el ancho y que la profundidad de socavación obtenida sea mayor; puesto que con esa información se tiene un factor de seguridad por eventos climáticos imprevistos, y garantizar la seguridad de la construcción.

Conociendo la importancia de la relación del diámetro medio en la socavación, se recomienda realizar más calicatas de forma zonificada en la extensión del terreno del lecho del puente, para obtener un adecuado estudio de suelos.

En el parámetro de la hidrología se recomienda la toma de datos in situ, para luego procesarlos manualmente y con el apoyo de algún software, obtener resultados y compararlos, para así tener datos confiables en el modelamiento Hec Ras. En esta investigación el programa para procesar los datos in situ fue HCanales.

Para conocer la socavación total de una manera confiable, se recomienda no solo el uso del programa Hec ras, sino que con la obtención del results table, reemplazarlos en las fórmulas empíricas para verificar los valores de la socavación general, en estribos y pilares.

## REFERENCIAS

ALVARADO, César. Análisis y diseño de puentes. Tesis (Grado de Bachiller en Ingeniero Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2015.

ANDER-EGG, Ezequiel, Introducción a las técnicas de investigación social para trabajadores sociales [en línea]. Buenos Aires: Lumen, 1969. 335pp. [fecha de consulta: 03 de octubre del 2018].

ARIAS, Fidias. El proyecto de Investigación - Introducción a la metodología científica. 6. ° ed. Caracas: Editorial Episteme, 2012. 26 pp.  
ISBN: 980-07-8529-9

AVALOS, Carlos y Zegarra, Julio. Evaluación de la socavación que producirá en pilares y estribos del puente Moche, la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Perú: Universidad Privada del Norte, 2019.

CAMACHO, Hermelinda, etl. La indagación: una estrategia innovadora para el aprendizaje de procesos de investigación. [en línea]. Revista Laurus. Venezuela. [Fecha de consulta: 20 de mayo, 2019].  
ISSN: 1315-883X

CAÑAS, Eduardo. Estudio de la socavación local en pilas circulares de puentes en lechos no cohesivos con modelación física en laboratorio. Tesis (Título profesional de Máster en Ingeniería Civil). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2018.

CARRASCO, S. Metodología de la Investigación científica. [en línea]. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. [2006]. [Fecha de consulta 02 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://www.academia.edu/26909781/Metodologia\\_de\\_La\\_Investigacion\\_Cientifica\\_Carrasco\\_Diaz\\_1\\_](https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1_)

CASTELLANOS, Carolina. Evaluación del impacto de las alteraciones climáticas en un puente de concreto prees forzado. Tesis (Título profesional de Master en Ingeniería Civil). Portugal: Universidade do Minho, 2016.

CHOW, V; MAIDMENT, D; MAYS, L. 1994. Hidrología Aplicada. 1° ed. Santa de Bogotá: Editorial McGraw- Hill Interamericana S.A, 1994. ISBN: 0070108102

CHIRINOS SOTA, F. R. (2017). Estudio de socavación de la subestructura de puente y análisis de estabilidad–caso puente Nicolás Dueñas de la ciudad de Lima en el 2017. Tesis para optar el grado de Ingeniería Civil, Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2017

CHOW, V. T. Hidráulica de canales abiertos. 1° ed. ILLINOIS: MCGRAW, 1994.ISBN 9586002284.

CORONADO, J. Paradigmas. Vol. 2°. Colombia: Corporación Universitaria Unitec. [2007].  
ISSN: 19094302

ESPARZA, Franco. Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2 km aguas abajo del puente Careaga– Chicama – Ascope – La Libertad. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, 2019.

ESPINOZA FIGUEROA, D. (2010). Vulnerabilidad por socavación de puentes carreteros ante avenidas. Tesis para obtener el grado de maestro en ingeniería estructural, universidad autónoma metropolitana unidad Azcapotzalco, México, 2010.

FELIPE, Elbio. Socavación producida por el río Huallaga al puente colpa alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de artamanov, straub y maza, en el hec-ras. Tesis (Título profesional de Máster en Ingeniería Civil). Perú: Universidad de Piura, 2016.

GARCÍA, Rossell & Aranís, César. Análisis y diseño de puentes de concreto armado, Método AASHTO y LRFD. 1° ed. Lima: ACI, 2006.

GERONIMO, Miller. Estimación de la socavación producida por el flujo de agua del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap utilizando el programa hec – ras, Sinsicap – provincia de Otuzco, 2019. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Perú: Universidad nacional de Trujillo, 2019.



GÓMEZ CUNYA, L. Socavación alrededor de pilares de puentes en lechos granulares no cohesivos. Tesis de Post- grado para obtener el grado de magister en ciencias en ingeniería hidráulica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2012.

GUEVARA, A. M. (2016). Socavación en Puentes.1° ed. México: Cauca, 2016. ISBN 978-958-590-354-8

GUILLEN, Albert y Gálvez, Chris. Evaluación de la socavación producida en pilares y estribos del puente libertad causado por el fenómeno el niño. Distrito de Guadalupe, la libertad - 2019. Tesis (Grado de Bachiller en Ingeniero Civil). Perú: Universidad Privada del Norte, 2019.

HERNANDEZ, R, etl. Metodología de la investigación. 6° ed. México: Rey Charles Diez, 2014.

ISBN: 978-607-15-0291-9

KERLINGER, Fred. Investigación del comportamiento. Métodos de investigación en ciencias sociales. México: McGraw-Hill, 2002. [170] pp.

LESCANO, M.; ROCHA, A. Transporte de Sedimentos. 1° ed. Lima: UNI, 1969.

LINSLEY, R.; KOHLER, M.; PAULUS, J. 1988. Hidrología para ingenieros. 2° ed. México: Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A, 1988.

Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú: Lima, 2012.

Manual de Puentes. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Perú: Lima, 2016.

MARTIN, P. Ingeniería de Ríos. 2° ed. Barcelona: Ediciones Universidad Politécnica Cataluña, 2001. ISBN 970150819-X

MARTINEZ, G. Socavación en obras civiles y su problemática. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Instituto Politécnico Nacional, México, 2007.

MELVILLE, B. W & COLEMAN, S. E. Bridge Scour. LLC Colorado: Water Resources Publications, 2000.ISBN: 1887201181

MÉNDEZ, Álvarez C. E. *Metodología guía para elaborar diseños de investigación en ciencias económicas, contables y administrativas*. [en línea]. 2da.ed. Colombia: McGraw Hill.1999. [fecha de consulta: 03 de octubre del 2018].

ISBN: 958-60-0017-6

MURILLO, W. La investigación científica. [en línea]. Colombia. [Fecha de consulta 02 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-científica/invest-científica.shtml> 2008

NAMAKFOROOSH, Naghi. *Metodología de la investigación*. México: Editorial. Limusa S.A, 2000.525 pp.

ISBN: 9789681855178

NILSON, A. H., & DARWIN, D. *Diseño de estructuras de concreto*. 1° ed. México: McGraw-Hill, 1999. ISBN 007046586-X

NÚÑEZ, M. *El seminario y la metodología de la investigación*. Vol. 11°. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. [2014].

ISSN: 17285852

PIMIENTA, R. Encuestas probabilísticas vs. no probabilísticas. [en línea]. 2000. [Fecha de consulta 02 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=26701313>.

ISSN: 0188-7742

PINEDA, Beatriz; DE ALVARADO, Eva y DE CANALES, Francisca. *Metodología de la investigación, manual para el desarrollo de personal de salud*, 2° ed. Washington.: Organización Panamericana de la Salud, 1994. 232 pp.

ISBN: 927-53-2135-3

PIZARRO, R.; González, p.; wittersheim, m.; saavedra, j.; soto, c. 1993. *Elementos técnicos de Hidrología III. Proyecto regional sobre el uso y conservación del recurso hídrico en áreas de América Latina y el Caribe*. 1° ed. Chile: Editorial Universidad de Talca, 1993. ISBN: 9789567059065.

RIVERA, Macarena. Casiopedia. El suelo y fuerzas. [En línea] 07 de Julio de 2014. [Citado el: 09 de junio de 2020.] [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Macarena\\_Rivera-\\_Ficha\\_06/31072014#Definici.C3.B3n\\_momento](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Macarena_Rivera-_Ficha_06/31072014#Definici.C3.B3n_momento). Ficha 06.

ROCHA, A. Introducción a la Hidráulica Fluvial. 1° ed. Lima: UNI, 1998.

Rodríguez, Arturo. Puentes con AASHTO - LRFD. En Puentes (págs. I-1). 5° ed. Lima: Derecho reservados, 2012.

RUIZ, M., novillo, n., fragueiro, a., ampuero, j., & ojeda meztas, j. Análisis, construcción y diseño de puentes. 4° ed. Lima: ICG, 2016. ISBN: 6242691159

SABINO, Carlos. El proceso de investigación. Argentina: Ed. Lumen, 1992. 134 pp. ISBN: 9507245758

SOTO amador, e. modelo de socavación en la base del pilar del puente Mariscal Cáceres. Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013.

TAMAYO, M. 2003. El proceso de la investigación científica. 4° ed. México: Editorial Limusa S.A., 2003. ISBN: 968-18-5872-7

VILLÓN, M. Hidrología. 1 ed. Cartago: Editorial Publicaciones del Instituto Nacional de Costa Rica, 2002. ISBN 9789977662770

ZORRILLA, Arena y Torres Xammar. *Guía para elaborar la tesis*. 2°da. Ed. México: Mc Graw Hill, 2001. 107 pp. ISBN: 970-10-0139-7

## ANEXO 1

---

### Declaratoria de Originalidad del Autor


Yo, Quito Crispin Daniel Jonathan, egresado de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo campus Lima Norte, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulado:

“Evaluación de la socavación total para la optimización de diseño del puente solidaridad en el distrito San Juan de Lurigancho, 2017”, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 23 de Julio de 2020

Apellidos y Nombres del Autor Quito Crispin, Daniel Jonathan	
DNI: 46611037	Firma 
ORCID: 0000-0003-3007-3166	



## Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, Jose Luis Benites Zuñiga docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo Lima Norte, asesor de Tesis titulada:

**“Evaluación de la socavación total para la optimización de diseño del puente solidaridad en el distrito San Juan de Lurigancho, 2017, del autor Quito Crispin Daniel Jonathan,** constato que la investigación tiene un índice de similitud de N°18% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 7/23/2020 de Julio de 2020

Apellidos y Nombres del Asesor:

Benites Zuñiga Jose Luis

DNI  
42414842

ORCID  
0000-0003-4459-494X

Firma

## ANEXO 3

### Matriz de consistencia

<b>TÍTULO</b>	Evaluación de la socavación total para la optimización de diseño del puente solidaridad en el distrito San Juan de Lurigancho, 2017				
<b>AUTOR</b>	Quito Crispin, Daniel Jonathan				
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLE, INDICADORES E INSTRUMENTO</b>		
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>V. INDEPENDIENTE (SOCAVACIÓN TOTAL)</b>		
			DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Cómo la evaluación de la socavación total mejora el diseño del puente?	Evaluar la influencia de la socavación total en la mejora del diseño del puente	La evaluación de la socavación total mejora el diseño del puente	Hidrología superficial	Caudal	Ficha de Investigación
				Profundidad del cauce	
				Transporte de sedimentos	
			Método de análisis de socavación	Tipo de flujo	
				Método General	
				Método local	
				Hec Ras	
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b>	<b>V. DEPENDIENTE (DISEÑO DEL PUENTE)</b>		
			DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿De qué manera las condiciones geotécnicas determinan la socavación del puente?	Determinar la influencia de las condiciones geotécnicas en la socavación del puente	La evaluación de las condiciones geotécnicas influye en la socavación del puente	Sub estructura del Puente	Cimentación	Ficha de Investigación
				Pilar	
¿En qué medida la variación de la hidrología superficial influye en el cálculo de la socavación del puente?	Determinar la influencia de la variación de la hidrología superficial en el cálculo de la socavación del puente	La evaluación de la variación de la hidrología superficial influye en la socavación del puente	Súper estructura del Puente	Estribo	
				Torre principal	
				Cables	
				Tablero	
¿Cómo las evaluaciones de los métodos de análisis de socavación influyen en el diseño del puente?	Evaluar la influencia de los métodos de análisis de socavación en el diseño del puente	La evaluación de los métodos de análisis de socavación influye en el diseño del puente	Condiciones geotécnicas	Ensayos estándar	Equipos para realizar las pruebas dadas en los indicadores


**Diseño de investigación:** No experimental – Transversal  
**Nivel de investigación:** Explicativa  
**Tipo de Investigación:** Aplicada

### Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V.I (SOCAVACIÓN TOTAL)	(Polanco, K. 2013 pág. 22) Es un fenómeno de largo plazo, que podríamos llamar natural, [...] como consecuencia, la velocidad del agua y la capacidad de arrastre de la corriente son elevadas. En la medida que el flujo arrastra más material, el flujo alcanza rápidamente su capacidad potencial de arrastre.	Evaluar la influencia de la socavación total en la mejora del diseño del puente solidaridad	Hidrología superficial	Caudal	RAZÓN
				Profundidad del cauce	
				Transporte de sedimentos	
				Tipo de flujo	
			Método de análisis de socavación	Método General	
				método local	
				Hec Ras	
V.D (DISEÑO DEL PUENTE)	MTC, (2016) viene a ser una obra de arte especial requerida para atravesar a desnivel un accidente geográfico u obstáculo artificial por el cual no es posible el tránsito en la dirección de su eje, existiendo diversos tipos, siendo los más comunes y utilizados según la demanda, puente arco, puente viga, puente pórtico, puente colgante, puente atirantado	Evaluar la influencia de los métodos de análisis en el diseño de la super estructura del puente solidaridad	Sub estructura del Puente	Cimentación	RAZÓN
				Pilar	
				Estribo	
			Súper estructura del Puente	Torre principal	
				Cables	
			Condiciones geotécnicas	Tablero	
				Ensayos estándar	




## ANEXO 4

### Instrumentos de recolección de datos

 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

**Anexo 02**

**FICHA DE REGISTRO DE DATOS**

<b>PROYECTO:</b>	"EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN TOTAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑO DEL PUENTE SOLIDARIDAD EN EL DISTRITO SAN JUAN DE LURIGANCHO, 2017"		
<b>AUTOR:</b>	QUITO CRISPIN, DANIEL JONATHAN		
<b>I.</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>		
	<b>UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>		
	DISTRITO		
	PROVINCIA		
	REGION		
<b>II.</b>	<b>D1V1: HIDROLOGIA SUPERFICIAL</b>		
	CAUDAL (m³/s)		
	1997 - 2017		
<b>III.</b>	<b>D1V3: SUB ESTRUCTURA DEL PUENTE</b>		
	¿Cuál es el estado actual del puente?		
<b>IV.</b>	<b>D1V2: SUPER ESTRUCTURA DEL PUENTE</b>		
	¿Porqué los tirantes del puente no soportaron el colapso de la estructura?		
<b>V.</b>	<b>D2V1: SOCAVACIÓN</b>		
	¿Cuál es el grado de impacto de dicho peligro (socavación) en la zona de estudio?		
<b>VI.</b>	<b>D3V2: CONDICIONES GEOTÉCNICAS</b>		
	Tipo de suelo:		
	Dimensiones de la sección del río:		
<b>Expertos</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>NOMBRE:</b>	Jacinto Calderón R.	Jacinto Calderón R.	William Sanchez V.
<b>PROFESIÓN:</b>	INGENIERO CIVIL	INGENIERO CIVIL	INGENIERO CIVIL
<b>REGISTRO CIP:</b>	51630	33982	62908
<b>E-MAIL:</b>	spedite@ucv.edu.pe	jacarva-pe12@hotmail.com	wsanchez@ucv.edu.pe
<b>TELEFONO:</b>	940220761	996101536	999928057
<b>FIRMA:</b>			





FICHA DE REGISTRO ANECDÓTICO			
AUTOR:	QUITO CRISPIN, DANIEL JONATHAN	FECHA:	
LUGAR:		HORA:	
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN TOTAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑO DEL PUENTE SOLIDARIDAD EN EL DISTRITO SAN JUAN DE LURIGANCHO, 2017"		
DESCRIPCIÓN DE LO OBSERVADO		INTERPRETACIÓN DE LO OBSERVADO	
Expertos	A	B	C
NOMBRE:	Ricardo Padilla Pichen	Jacinto Calderón R.	William Santos R.
PROFESIÓN:	INGENIERO CIVIL	INGENIERO CIVIL	INGENIERO CIVIL
REGISTRO CIP:	51630	33982	999928008
E-MAIL:	spadilla@ucv.edu.pe	jacinto@ucv.edu.pe	wsantos@ucv.edu.pe
TELEFONO:	941724261	9961015938	999928008
FIRMA:			



FICHA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO			
AUTOR:	QUITO CRISPIN, DANIEL JONATHAN		
TIEMPO DE OBSERVACIÓN:			
FECHA DE OBSERVACIÓN:			
PROYECTO:	ASPECTOS A OBSERVAR		COMENTARIO
"EVALUACIÓN DE LA SOCACACIÓN TOTAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑO DEL PUENTE SOLIDARIDAD EN EL DISTRITO SAN JUAN DE LURIGANCHO, 2017"			
Expertos	A	B	C
NOMBRE:	Ricardo P. dilla Riche	Josinto Calderón R.	William Sanchez Terasategui
PROFESIÓN:	INGENIERO CIVIL	INGENIERO CIVIL	INGENIERO CIVIL
REGISTRO CIP:	51630	33982	62908
E-MAIL:	sp.dilla@ucv.edu.pe	jacarzu-felipe@hotmail.com	wsanchez@ucv.edu.pe
TELEFONO:	941724761	996101538	999928098
FIRMA:			

## ANEXO 5

### Turnitin

Feedback Studio - Google Chrome  
ex.tumtun.com/app/carta/es/?lang=es&o=1357129719&u=1088032488&s=1&ro=103

feedback studio Evaluación de la socavación total para la optimización de diseño del puente solidaridad en el distrito San Juan de Lurigancho, 2017

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación de la socavación total para la optimización de diseño del puente solidaridad en el distrito San Juan de Lurigancho, 2017

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:  
Quito Crispin, Daniel Jonathan (ORCID: 0000-0003-3007-3166)

ASESOR:  
Mg. Ing. Benites Zúñiga, José Luis (ORCID: 0000-0003-4459-494X)

LINEA DE INVESTIGACIÓN:  
Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LIMA - PERÚ  
(2020)

Resumen de coincidencias 18 %

Se están viendo fuentes estándar  
Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

1	Entregado a Universidad...	5 %
2	pdfs.semanticscholar...	2 %
3	hdl.handle.net	2 %
4	repositorio.ucv.edu.pe	1 %
5	Entregado a Universidad...	1 %
6	bdigital.unal.edu.co	1 %
7	pt.scribd.com	1 %
8	www.scribd.com	1 %
9	Entregado a Universidad...	1 %
10	docplayer.es	1 %
11	repositorio.uadep.edu.pe	1 %

Página: 1 de 95 Número de palabras: 13447

Text-only Report High Resolution Activado

18:50 p.m. 13/07/2020

**Panel fotográfico**



Fotografía 1. Puente Libertad

Fuente: (Guillen y Gálvez. 2019)

Vista total del Puente Libertad, previo al fenómeno del Niño, en cual se puede apreciar la super y subestructura





Fotografía 2. Pilares del puente Libertad

Fuente: (Guillen y Gálvez. 2019)

Vista de los pilares al descubierto, producto de la socavación como producto del fenómeno del Niño.



Fotografía 1. Puente Moche

Fuente: (Ávalos y Zegarra. 2019)

Vista total del Puente Libertad, previo al fenómeno del Niño, en cual se puede apreciar la super y subestructura



Fotografía 2. Recolección de datos en el puente Moche

Fuente: (Ávalos y Zegarra. 2019)

Recolección de datos en campo para definir los valores de la variación hidrológica del puente Moche, luego del paso del fenómeno del Niño.